

University of Groningen

## **Beperking grind- en gebroken grindverbruik door toepassing van andere materialen en/of methodieken**

Ike, Paul; Luijpers, Henk

*Published in:*

Beperking grind- en gebroken grindverbruik door toepassing andere materialen en/of methodieken

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

1982

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Ike, P., & Luijpers, H. (1982). Beperking grind- en gebroken grindverbruik door toepassing van andere materialen en/of methodieken. In P. Ike, & H. M. J. Luijpers (editors), *Beperking grind- en gebroken grindverbruik door toepassing andere materialen en/of methodieken* (blz. 89-134). (Publikatiereeks Civiele Planologie; Vol. 1982, Nr. 6). TH-Delft, Civiele Techniek, vakgroep Civiele Planologie.

### **Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### **Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

**BEPERKING GRIND- EN GEBROKEN  
GRINDVERBRUIK DOOR TOEPASSING  
ANDERE MATERIALEN EN/OF METHODIEKEN**



# INLEIDING

*In dit deel zal een (beknopte) beschouwing worden gegeven over welke mogelijkheden er zijn om het grind- en gebroken grindverbruik te beperken door het gebruik van andere materialen en/of methodieken. Daarbij zal de aandacht gericht worden op zowel bestaande als nieuwe materialen en/of methodieken.*

*De nadruk zal hierbij komen te liggen op de technische/ materiaalkundige en economische aspecten. Per materiaal en/of methodiek zal een maximum en een minimum raming gemaakt worden van de hoeveelheden grind en gebroken grind die daarvoor vervangen of bespaard kunnen worden in 1990 en 2000.*

*De hoeveelheden zullen worden uitgedrukt in grind- en gebroken grindequivalenten. Om praktische redenen zal de term grind- en gebroken grindequivalenten in dit deel vervangen worden door de term grindequivalenten. Dit heeft het voordeel van een kortere schrijfwijze maar bovendien blijkt het niet mogelijk te zijn om per materiaal, zoals bijvoorbeeld bij asfaltbeton, gescheiden aan te geven hoeveel grind en gebroken grind erin verwerkt is, daarom is het ook niet mogelijk om apart aan te geven hoeveel grind of gebroken grind vervangen of bespaard kan worden.*

*Er wordt verder geen rekening gehouden met de invoer van grindvervangende materialen. Bij de raming van de hoeveelheden wordt alleen uitgegaan van beschikbare hoeveelheden in Nederland.*

*Grind en gebroken grind worden in hoofdzaak toegepast in asfaltbeton en cementbeton. Daarnaast worden kleinere hoeveelheden in ongebonden vorm gebruikt. Daarom zal de aandacht in hoofdzaak gericht worden op materialen asfaltbeton en cementbeton.*

*Materiaalkundig/technisch gezien zijn er drie verschillende manieren waardoor een reductie van het grind- en gebroken grindverbruik tot stand gebracht kan worden door het gebruik van andere materialen en/of methodieken. Deze zullen in drie afzonderlijke hoofdstukken behandeld worden. Aan het einde van ieder hoofdstuk worden de resultaten samengevat in een tabel.*

In hoofdstuk 7 wordt het hergebruik van cementbeton en asfaltbeton behandeld.

De term "hergebruik" zal in dit rapport alleen gebezigd worden voor het geval dat een materiaal weer gebruikt wordt voor (nagenoeg) dezelfde toepassing; in de andere gevallen zal de term "gebruik" gebezigd worden. De term "recycling" betekent het terug brengen van produkten tot de oorspronkelijke grondstoffen (voor cementbeton is dat zand, grind en cement) en zal daarom niet worden gebruikt. Voorwat betreft cementbeton zal worden nagegaan in hoeverre het gebruik van kringloopbeton en de toepassingen van demonteerbaar bouwen kan leiden tot hergebruik van cementbeton. Met betrekking tot asfaltbeton blijken er drie verschillende methodes van hergebruik te zijn. Deze methodes worden achtereenvolgens besproken; de toekomstige technische/ekonomische perspectieven van de verschillende methodes komen daarbij aan de orde. Zowel voor cementbeton als asfaltbeton zullen in de desbetreffende gevallen hoeveelheden grindequivalenten geraamd worden die vervangen of bespaard kunnen worden.

In hoofdstuk 8 wordt de vervanging van het toeslagmateriaal grind in cementbeton en in asfaltbeton behandeld.

De nadruk ligt hierbij vooral op het gebruik van afvalstoffen. In totaal worden een negental soorten afvalstoffen behandeld.

Daarna wordt er aandacht besteed aan de bestaande lichte toeslagmaterialen voor lichtbeton. Per materiaalsoort worden weer minimale en maximale hoeveelheden grind-equivalenten geraamd die vervangen kunnen worden.

In hoofdstuk 9 wordt gekeken naar de mogelijkheden die er zijn om een alternatief materiaal te kiezen voor cementbeton, asfaltbeton en grind dat in ongebonden vorm gebruikt wordt.

In alle drie gevallen worden weer hoeveelheden grind-equivalenten geraamd die vervangen of bespaard kunnen worden in 1990 en 2000.

Praktisch gezien zijn bovengenoemde drie manieren van het reduceren van het grind- en gebroken grindverbruik in sommige gevallen niet zo strikt te scheiden.

Bij het ramen van de hoeveelheden te besparen grind-equivalenten wordt daarmee rekening gehouden.

# HERGEBRUIK VAN CEMENTBETON EN ASFALTBETON

## 7.1 INLEIDING

Wanneer een materiaal wordt hergebruikt draagt men bij aan de oplossing van twee belangrijke problemen namelijk:

- . Het probleem van het storten van afval.
- . Problemen die samenhangen met de winning van grondstoffen, zoals schaarste, hinder, milieu-effecten enz.

In paragraaf 7.2 wordt het hergebruik van cementbeton behandeld. Daarbij zal een uiteenzetting worden gegeven over kringloopbeton en demonteerbaar bouwen. Voor wat betreft kringloopbeton zal worden ingegaan op het slopen, enige economische aspecten, onderzoek en enige praktijktoepassingen in Nederland. Tenslotte wordt een raming gemaakt van de hoeveelheden grindequivalenten die vervangen kunnen worden door het gebruik van kringloopbeton. Daarna zullen enige technische en economische perspectieven van demonteerbaar bouwen behandeld worden.

In paragraaf 7.3 wordt het hergebruik van asfaltbeton behandeld. Bij het hergebruik van asfaltbeton kan men drie verschillende methodes onderscheiden:

- . warm hergebruik met behulp van een vaste menginstallatie
- . warm hergebruik in situ (oppervlakte-regeneratie)
- . koud hergebruik

De verschillende procédés/technieken binnen elke methode zullen achtereenvolgens in het kort worden besproken. Daarbij komen tevens de technische en economische perspectieven aan de orde. Per onderdeel zal weer een raming gemaakt worden hoeveel grind-equivalenten in de toekomst bespaard kunnen worden. Aan het einde van dit hoofdstuk is een overzichtstabel met hoeveelheden opgenomen, zie tabel 7.7.

## 7.2 HERGEBRUIK VAN CEMENTBETON

Internationaal onderzoek met betrekking tot het hergebruik van cementbeton begint thans op gang te komen.

In 1978 is op initiatief van de Commissie voor Uitvoering van Research ingesteld door de betonvereniging (CUR) een drie landen - onderzoek-project opgezet. Het project bestaat uit drie onderdelen, die betrekking hebben op de volgende zaken: slopen, hergebruik en demontage. Duitsland zal zich in hoofdzaak bezig houden met slopen, België met hergebruik en Nederland met demontabel bouwen. In Duitsland is men in feite nog niet begonnen met het onderzoek; in Nederland is men onlangs gestart en in België is het onderzoek al een eind gevorderd (Kreijger-1980, blz. 214).

In de paragraaf 7.2.1. en 7.2.2 worden nu achtereenvolgens kringloopbeton en demonteerbaar bouwen behandeld.

### 7.2.1. Kringloopbeton.

Kringloopbeton is beton waarin gebroken cementbeton wordt toegepast als toeslagmateriaal al dan niet met bijmenging van natuurlijk toeslagmateriaal. Voorwat betreft kringloopbeton zal in dit gedeelte worden ingegaan op het slopen, enige economische aspecten, onderzoek in Nederland, enige praktijkvoorbeelden en hoeveelheden grind die bespaard kunnen worden.

#### *Slopen van cementbeton*

In principe zijn er momenteel drie methodes:

- . Breken in een vaste of mobiele breker-installatie.  
Er bestaat momenteel een type breker waarbij de wapening steeds verder wordt opgegooid tot deze via een luik wordt afgevoerd (Lambotte-1979, blz. 331).
- . Breken door middel van explosieven.  
Dit wordt op dit moment onderzocht (Lambotte-1979, blz. 331). De kosten van deze methode, minder dan f 20,- per m<sup>3</sup> beton in 1980, rechtvaardigen verder onderzoek (SCW-1980, blz. 24). De wapeningsstaven komen niet in een warboel door een te liggen, hetgeen voordelen heeft vooral wat betreft de transportkosten.
- . Ontleding door middel van vriezen en dooien,  
Het is gebleken dat cementbeton onder optimale voorwaarden inderdaad ontleed kan worden waarbij de toeslagmaterialen zand en grind weer praktisch schoon worden teruggewonnen. Het benodigde aantal malen vriezen/dooien bleek ongeveer gelijk te zijn aan de kubus-druksterkte in N/mm<sup>2</sup> van het beton gedeeld door 10. Een beton-recirkulatie-fabriek, werkend volgens dit principe, bleek economisch een zwaar verliesgevend bedrijf te zijn. Voorlopig kan aan deze toepassing niet worden gedacht (Kreyger-1980, blz. 214).

Het gebroken beton dient vrij te zijn van verontreinigingen zoals gips en organische bestanddelen zoals hout, papier en kunststof. Dit betekent dat een scheiding in deelstromen op de bouwplaats noodzakelijk is (selectief slopen).

#### *Enige economische aspecten*

In tabel 7.1. is een sterk vereenvoudigde vergelijking gemaakt tussen kostenfactoren van cement- en/of asfaltbeton gemaakt met behulp van natuurlijke granulaten zoals grind en gebroken grind en beton gemaakt met behulp van afval-grondstoffen.

cement- en/of asfaltbeton gemaakt met behulp van:			
Natuurlijke granulaten		Afval-grondstoffen	
. grind		. extra bewerking	
koncessie-kosten	f. g1	sloopplaats	f. a1
. produktie-kosten	f. g2	. stortkosten	f. a2
. bulktransport-kosten	f. g3	. transport naar stort	f. a3
		. transport naar opwerkings-lokatie	f. a4
		. opwerkings-kosten	f. a5
. Transport naar bouwplaats	f. g4	. transport naar bouwplaats	f. a6
. Betonproduktie-kosten	<u>f. g5</u>	. betonproduktie-kosten	<u>f. a7</u>
	f. g		f. a

TABEL 7.1. *Vergelijking tussen kostenfactoren van beton gemaakt met behulp van natuurlijke granulaten en afvalgrondstoffen.*

Het (her) gebruik van afvalstoffen zal worden bevorderd door de invoering van de afvalstoffenwet in oktober 1979. Deze wet stelt aanzienlijke strengere eisen aan het gecontroleerd storten dan voorheen het geval was. Mede door een tekort aan stortplaatsen is een verhoging van de storkosten te verwachten.

Uitgaande van de eis dat de toepassing van betonpuin goedkoper moet zijn dan de toepassing van grind, kan men met behulp van tabel 7.1. volgende ongelijkheid opstellen:

$$f. a < f. g \quad (7.1)$$

Aannemende dat  $a_7=g_5$  en  $a_3=a_4$  en  $a_6=g_4$  krijgt men:

$$a_1-a_2+a_5 < g_1+g_2+g_3 \quad (7.2)$$

De prijs van 1 ton grind N. 31,5 bedraagt f.9,- af baggermolen.

De vracht naar Rotterdam, Groningen en Maastricht is respectievelijk f.7,- , f.11,- en f.3,75 per ton in prijzen 1982 volgens opgave van het grindverkoopkantoor. Hierbij komen dus nog lossingskosten en vervoer naar de gebruiker op de wal.



Stel dat  $g_1 + g_2 + g_3 = f. 16,-$  per ton; hierbij is de naar Rotterdam als gemiddelde aangehouden.  
 De stortkosten ( $a_2$ ) van sloopbeton zijn  $f. 3,-$  à  $f. 4,50$  per ton in prijzen 1980 (zie Couvée-1980, blz. 695 en SCW-1980, blz. 26). Stel dat  $a_2$  nu  $f. 4,50$  per ton is in prijzen 1982.  
 Uitgaande van ongelijkheid 7.2 moeten de extra sloopkosten ( $a_1$ ) plus de werkingskosten ( $a_5$ ) lager zijn dan  $f. 16,- + f. 4,50 = f. 20,50$  per ton.

Gebroken cementbeton met een vaste breekinstallatie op 50 km afstand zou  $f. 12,50$  per ton kosten in prijzen 1979 (zie Couvée - 1980, blz. 695). Andere bronnen vermelden prijzen van  $f. 4,50$  à  $f. 25,50$  per ton in prijzen 1980 (zie SCW-1980, blz. 26 en Haskoning-1982, blz. 34). Wordt een mobiele breekinstallatie en een kringloopmortelcentrale naast het werk geplaatst, zoals bijvoorbeeld naast een op te breken/te vernieuwen landingsbaan van een vliegveld, dan wordt bovengenoemde vergelijking nog gunstiger voor het kringloopbeton.  
 Slopers in Washington D.C. vinden het aantrekkelijker om hun materialen tegen betaling te bezorgen bij de regeneratie - bedrijven dan het puin over 10-20 mijl buiten de stad te moeten vervoeren, waar per vracht 8 à 9 dollar moet worden betaald (zie Bakker- juli 1981, blz 202).

Bekijkt men het energetische aspekt dan blijkt dat de opwerking van sloopafval een energieverbruik vergt van  $5,5$  à  $7,5$  MJ per ton. Ter verduidelijking: 1 liter benzine komt overeen met 30-40 MJ. Met de energie die nodig is om 1 ton betonpuin te verwerken kan men het betonpuin slechts over een beperkte afstand van enkele kilometers per as naar een stortplaats transporteren.

De konklusie luidt dan ook dat een beton gemaakt van een puingranulaat economisch/energetisch in principe kan concurreren met een beton gemaakt van natuurlijke granulaten. Het criterium waarop de konsument beslist zal de verhouding prijs-kwaliteit zijn. Mocht de kwaliteit van een puingranulaat niet gelijkwaardig zijn aan het "natuurlijk" produkt dan resteren er twee mogelijkheden:

- . mengsamenstelling aanpassen zodat een gelijke beton-kwaliteit verkregen wordt of
- . het ontwerp of de konstruktie aanpassen aan het kwalitatief mindere materiaal.

#### *Onderzoek en enige praktijktoepassingen in Nederland*

In de BRD zijn in de jaren na de oorlog grote hoeveelheden puin in beton verwerkt. De eisen waaraan het puin-granulaat moest voldoen lagen vast in de norm DIN 4163.  
 Ook in Nederland o.a. in Dordrecht is destijds puin verwerkt in beton. In de literatuur is hierover echter weinig te vinden (zie Bakker-mrt. 1981, blz. 185).

In aug. 1979 heeft men op de vliegbasis Volkel onder de te maken asfaltbeton-verharding van 20 cm dikte een fundering van 20 cm toegepast bestaande uit cement-gebonden gebroken beton. In totaal werd 5000 m<sup>3</sup> bestaande betonverharding gebroken tot een materiaal met een korrel-gradering van 0-45 mm. Deze proef was erg geslaagd en is aanzet geweest om onderzoek te verrichten naar de mogelijkheid gebroken beton toe te passen als toeslagmateriaal in hoogwaardig beton (zie Heerkens-jan. 1980, blz. 38).

In dec. 1979 is op de vliegbasis Volkel een aantal proefvakken aangelegd met een toplaag van 28 cm. bestaande uit een cementbetonverharding van kringloopbeton met verschillende samenstellingen. Afgezien van enige technische problemen, zoals een iets moeilijker verwerking, bleek het mogelijk een kringloopbeton te vervaardigen van voldoende hoge kwaliteit. De druksterkte was ongeveer 10% lager dan de druksterkte van grindbeton met een vergelijkbare samenstelling (zie Heerkens-febr. 1980, blz. 47 t/m 53).

In november 1980 is in het tijdschrift "Cement" een artikel verschenen over een onderzoek naar gebruik van gebroken beton als hoogwaardige toeslag in de bovenlaag van een verhardings-konstruktie. De druksterkte bleek 50% hoger te liggen dan een vergelijkbare grind- en steenslagbeton. Problemen bij het vervaardigen van kringloopbeton zijn de verwerkbaarheid en de waterabsorptie (zie Couvée -1980, blz.695).

In 1981 is bij de bouw van nieuwe startbanen op het vliegveld Zuid-Limburg 40.000 m<sup>3</sup> materiaal verwerkt uit oude startbanen. Zware transportvliegtuigen kunnen aldaar nu landen op kringloopbeton (zie wegen 1981, nr. 9, blz. 295).

De konklusie uit hetvoorgaande is dat de economische en energetische perspectieven niet bij voorbaat ongunstig zijn. Cementbetonpuin blijkt een hoogwaardig materiaal waarmee uitstekend beton gemaakt kan worden; niet alleen voor toepassing in de wegenbouw maar waarschijnlijk ook in de woning- en utiliteitsbouw.

#### *Hoeveelheden te besparen/vervangen grindequivalenten*

De prognoses over de hoeveelheden bouw- en sloopaafval die de toekomst zullen vrijkomen lopen uiteen. Een probleem hierbij is dat cijfers met betrekking tot metselwerkpuin en cementbetonpuin vaak niet gescheiden worden gegeven. De totale hoeveelheid bouw- en sloopaafval zou per jaar in de periode 1975-1980 ongeveer 6 à 6,5 mln. ton hebben bedragen (zie Bakker- mrt 1981, blz. 183; Hendriks-november 1981, blz. 20): Dit totaal zou als volgt samengesteld zijn (Hendriks-november 1981 blz. 20):

asfaltbetonpuin	:	0,7 mln. ton
cementbetonpuin	:	2 à 3 mln. ton
metselwerkpuin	:	3 à 4 mln. ton.

Boogaard stelt dat in 1975 ca. 1 mln. m<sup>3</sup> cementbeton, dit komt overeen met ongeveer 1,8 mln. ton, is gesloopt (zie Boogaard-1981, blz. 363).

In het rapport "Bouw- en Sloopafval in Nederland" is berekend dat uit de sektor woningbouw de volgende hoeveelheden te verwachten zijn, zie tabel 7.2;

	Metselwerk- puin	Cementbeton - puin	Totaal	
Jaar	in miljoen ton			Verhouding
1980	1,7	0,7	2,4	70% - 30%
1990	1,4	0,6	2,0	70% - 30%
2000	1,2	0,6	1,8	66% - 34%

Bron: Botman-1979, blz.7

TABEL 7.2. *De te verwachten hoeveelheden puin uit de sektor woningbouw.*

De verwachting is dat het percentage betonpuin in de toekomst zal stijgen. Daarentegen zal de hoeveelheid metselwerkpuin waarschijnlijk afnemen daar in de bouw na 1945 veel meer beton is toegepast. De geproduceerde hoeveelheid beton bedraagt voor de periode (boogaard-1981, blz. 363):

1922-1946 = 24 jaren: 48 mln. m<sup>3</sup>  
 1946-1975 = 29 jaren: 260 mln. m<sup>3</sup>

Gegeven het feit dat de levensduur van konstrukties ongeveer 50 à 100 jaar is, zullen pas na het jaar 2000 à 2050 grotere hoeveelheden cementbetonpuin vrij komen.

Voor 1990 en 2000 wordt de totale hoeveelheid cementbetonpuin en metselwerkpuin geschat op 7,6 mln. ton en 10,8 mln. ton per jaar (zie Haskoning-1982, blz. 33). Gezien totale hoeveelheid bouw- en sloopafval over de periode 1975-1980 en de hoeveelheden geproduceerde beton lijken dit redelijke schattingen. In de grond-, weg- en waterbouw en utiliteitsbouw zijn vroeger veel werken uitgevoerd in metselwerk, zoals gemetselde sluizen, keermuren, fabrieken enz. Daarom wordt voor de gww en u-bouw dezelfde verhouding tussen cementbetonpuin en metselwerkpuin aangehouden als in de sektor woningbouw. Voor alle drie sectoren in de Bouwnijverheid te samen worden de geraamde hoeveelheden, zie tabel 7.3:

	Metselwerk- puin	Cementbeton- puin	Totaal
Jaar	in miljoen ton		
1990	5,3	2,3	7,6
2000	7,1	3,7	10,8

Tabel 7.3 *De te verwachten hoeveelheden puin uit de totale bouwnijverheid.*

Aannemende dat 50% van de hoeveelheid cementbetonpuin in 1990 en 70% van de hoeveelheid in 2000 door betere selectievere sloopmethoden geschikt is om er kringloop-beton van te maken en verder aannemende dat cementbetonpuin ongeveer hetzelfde stortgewicht heeft als grind, dan levert dat maximaal de volgende potentieel bruikbare hoeveelheden cementbetonpuin op:

1990 : 1,1 mln. ton grindequivalenten  
2000 : 2,6 mln. ton grindequivalenten

Gezien het feit dat de toepassing van kringloopbeton zich in feite nog in het research-stadium bevindt en dat cementbetonpuin ook voor andere toepassingen gebruikt kan worden, moeten bovengenoemde hoeveelheden als een *bovengrens* beschouwd worden. Een ondergrens is moeilijker aan te geven. In 1981 is reeds 0,2 mln ton (40.000 m<sup>3</sup>) cementbetonpuin in kringloopbeton toegepast. Vooral bij grotere projecten (wegen, startbanen) waarbij men de kwaliteit van het cementbetonpuin goed in de hand heeft zal men zeker kringloopbeton gaan toepassen.

Verder speelt de bekendheid met het materiaal/techniek een grote rol, daarom kan als voorzichtige *ondergrens* voor de hoeveelheden cementbetonpuin worden aangehouden:

1990 : 0,2 mln. ton grindequivalenten  
2000 : 0,4 mln. ton grindequivalenten

Bovengenoemde ondergrens en bovengrens geven dan het volgende totaaloverzicht, zie tabel 7.4:

	cementbetonpuin	
	Minimum	Maximum
Jaar	mln. ton grindequivalenten	
1990	0,2	1,1
2000	0,4	2,6

Tabel 7.4. *Hoeveelheden te besparen grind-equivalenten door hergebruik van cementbetonpuin.*

Deze en volgende hoeveelheden zijn aan het einde van dit hoofdstuk samengevat in tabel 7.7

### 7.2.2. Demonteerbaar bouwen

Betonnen constructie-elementen van een gebouw zoals balken, vloeren, kolommen e.d. hebben doorgaans een veel langere levensduur dan de andere materialen die in een gebouw verwerkt zijn zoals raamkozijnen, sanitair enz. Wanneer de betonnen constructie-elementen demontabel zouden zijn, kunnen zij in principe weer gebruikt worden voor nieuwe doeleinden en zo enkele generaties meegaan.

In 1968 werd in Wenen een kantoorgebouw gedemonteerd en overgebracht naar een plaats die 40 km was verwijderd. Met de vrijgekomen constructie-elementen zijn aldaar twee scholen en een kleiner kantoorgebouw gebouwd. In dit geval wist men dat het oorspronkelijke gebouw maar voor ca. 10 jaar een tijdelijk onderkomen hoefde te bieden aan een gemeentelijke dienst. Dit is de eerste maal in Europa dat een betonnen demonteerbaar gebouw daadwerkelijk is neergezet.

In Nederland zijn enige bruggen demonteerbaar gebouwd (zie Buijs-1981, blz. 368 en 376).

In het artikel "Demonteerbaar denken en doen" stelt Buijs dat demonteerbaar bouwen de bouwkosten voor wat betreft de eerste realisering enkele procenten meer zullen bedragen dan bij traditionele bouwwijzen; de daaruit voortkomende gebouwen (tweede realisering) zullen echter slechts de helft kosten van vergelijkbare nieuwbouw (zie Buijs - 1981; blz. 374).

De voordelen van demonteerbaar bouwen zijn legio: besparing op sloopkosten, besparing op bouwkosten bij tweede realisering, besparing op materiaalverbruik, verbouwingen zijn handiger en goedkoper uit te voeren, geen afvalprobleem, geen problemen bij grondstoffenwinning enz. <sup>3</sup>

Ter illustratie: In Nederland is tot 1976 308.000.000 m<sup>3</sup> beton geproduceerd; In de toekomst moeten miljoenen m<sup>3</sup> beton gesloopt worden. In 1975 is 1 miljoen m<sup>3</sup> beton gesloopt. De kosten hiervan bedroegen 150 miljoen gulden (zie Boogaard-1981, blz. 363).

Technisch gezien is demonteerbaar bouwen altijd mogelijk; het is veel eerder een "organisatorisch" probleem.

Het probleem is dat er constructie-elementen ontworpen moeten worden die in verschillende situaties aan verschillende eisen moeten voldoen. Er is in ieder geval een uitgebreid stelsel van maatafspraken nodig. De technische gegevens van een element moeten vastgelegd worden; aan de buitenkant is niet te zien hoeveel wapening er in zit en welke betonkwaliteit het betreft.

Samenvattend kan gesteld worden dat het onderzoek naar demonteerbaar bouwen nog maar pas op gang is gekomen. Het ontwikkelen van een goed funktionerend systeem zal nog jaren duren.

Aangezien de leeftijd van gebouwen meestal 50 à 100 jaar is, zal het hergebruik van cementbeton als gevolg van demonteerbaar bouwen de eerste tientallen jaren niet tot besparing in het grindverbruik leiden.

### 7.3 HERGEBRUIK VAN ASFALTBETON

De laatste jaren zijn in het buitenland en in Nederland zowel van overheidswege als vanuit het bedrijfsleven allerlei nieuwe technieken ontwikkeld voor hergebruik van asfaltverhardingen. Dit is een gevolg van de sterk gestegen grondstoffenprijzen, met name die van bitumen, en de energieprijzen. Bovendien is in Nederland de afvalstoffen- en ontgrondingen-problematiek sterk van invloed op het streven naar hergebruik.

In asfaltbeton wordt veel grind en gebroken grind/ steen-slag verwerkt. Het aandeel grind/gebroken grind is ongeveer 47 gewichtsprocenten. Wanneer 1 ton asfaltbeton wordt hergebruikt in plaats van nieuw gemaakt betekent dat dus een grind en gebroken grindbesparing van ongeveer 0,5 ton.

Bij het hergebruik van asfaltbeton onderscheidt men in feite drie methodes:

- . warm hergebruik met behulp van een vaste menginstallatie
- . warm hergebruik in situ. (oppervlakte-regeneratie)
- . koud hergebruik

Van de eerste methode zullen in paragraaf 7.3.1. twee procédés besproken worden. Het eerste procédé berust op 100% hergebruik van opgebroken asfaltbeton. Bij het tweede procédé wordt 25% oud asfalt gebruikt. Van de tweede methode zullen in paragraaf 7.3.2 vier procédés besproken worden. Van de laatste methode, worden in paragraaf 7.3.3 twee toepassingen behandeld. In het kort worden, indien mogelijk, van bovengenoemde procédés en toepassingen de technische/ materiaalkundige en economische perspectieven aangegeven.

Bij de eerste en laatste methode wordt opgebroken asfaltbeton gebruikt. Bij de tweede methode wordt de oppervlakte van het wegdek open gewoeld en behandeld. Bij de raming van de hoeveelheid te besparen grindequivalenten moet de tweede methode los gezien worden van de andere omdat het oppervlak aan wegdek in Nederland als uitgangspunt dient. Bij de eerste en laatste methode dienen de hoeveelheden opgebroken asfaltbeton als uitgangspunt voor de raming van de hoeveelheden. Daarom komt er een afzonderlijke raming voor de hoeveelheden grindequivalenten bij de tweede methode.

### 7.3.1. Warm hergebruik; vaste menginstallatie

Het principe is dat de asfaltverharding koud gefreesd wordt of koud opgebroken wordt in schollen en daarna met een breker verkleind wordt. In een installatie wordt het oude asfalt verwarmd en eventueel gemengd met nieuwe materialen en daarna geschikt gemaakt voor hergebruik. De eerste projecten in de V.S. dateren uit de jaren zeventig. Tot op heden zijn nog geen significante verschillen gevonden met normaal asfalt. Het is mogelijk gebleken het verouderde bitumen zodanig te regeneren dat de eigenschappen gunstiger zijn dan van het oorspronkelijke mengsel (zie Bakker-juli 1981, blz. 200).

Tot en met 1980 is in de V.S. 2 miljoen ton asfalt warm geregeneerd; in 1981 verwachtte men dat 3½ miljoen ton geregeneerd zou worden (zie Bakker - juli 1981, blz. 196). De toepassing van warm geregeneerd asfalt is niet alleen beperkt tot de fundering, maar omvat tevens tussenlagen en deklagen.

In Nederland zijn momenteel twee procédés in gebruik:

- a) 100% hergebruik (Renofalt-procédé)
- b) partieel hergebruik (Aduco- procédé)

Deze procédés zullen in het kort hieronder worden toegelicht.

#### ad a) Het Renofalt-procédé

Hierbij wordt uitsluitend oud asfalt gebruikt. Het opgebroken materiaal wordt eerst gestoomd waardoor het uiteenvalt. Daarna wordt het verwarmd in een speciale verwarmingstrommel. Tenslotte mengt men het verwarmde oude asfalt met verjongingsolie waardoor het aanwezige asfaltbitumen te vergelijken is met nieuw asfaltbitumen.

De energie-inhoud van nieuw asfaltbeton is 2495 MJ/ton.

Ter vergelijking: 1 liter benzine = 30 à 40 MJ.

Het kost dus enorm veel energie, ongeveer 70 à 93 liter benzine, om 1 ton asfalt te maken. Regeneert men 1 ton oud asfalt voor 100% dan kost dat 836 ML/ton aan energie oftewel slechts 1/3 deel (zie Gerardu-1982, blz. 199).

Deze energiebesparing wordt in hoofdzaak veroorzaakt door de aanwezigheid van de zich in de oude te regeneren materiaal bevindende bitumen dat een energie-inhoud heeft van 1840 MJ/ton.

In drie jaar tijd zal bij de rekonstruktie van RW-16 in totaal 300.000 ton asfalt worden geregeneerd.

Ongeveer de helft van deze hoeveelheid bestaat dus uit grind en gebroken grind (150.000 ton).

Voor het RW-16 projekt bedroeg per 1 januari 1981 het financiële voordeel van het hergebruik van asfaltbeton volgens het Renofalt-procédé ten opzichte van de toepassing van nieuw grindasfaltbeton 10 à 15% (zie Gerardu-1982, blz. 200).

#### ad b) Het Aduco-procédé

De methode berust op het verwarmen van oud asfalt door menging met oververhit nieuw mineraalaggregaat. De mengselverhouding is ca. 25% oud asfalt en 75% nieuw materiaal. Elke gewenste samenstelling kan op deze manier worden geproduceerd. Elke konventionele asfaltinstallatie kan met enige aanpassingen voor deze produktiemethode worden gebruikt. In september 1980 is een praktijkproef op RW-313 nabij Harderwijk uitgevoerd waarbij 25% oud asfalt is verwerkt in 2200 ton grindasfaltbeton. De resultaten waren materiaalkundig gezien gunstig en uit energetisch/ekonomisch oogpunt aantrekkelijk.

De energie-inhoud van regeneratie-asfalt met 25% oud asfalt is circa 8/10 deel van die van nieuw te maken grindasfaltbeton (zie Bolk-1981; blz. 385).

Het Renofalt-procédé is vooral van belang bij grote werken, waarbij tenminste 100.000 ton wordt verwerkt.

Partiële regeneratie is vooral van belang voor hergebruik van kleinere, verspreid voorkomende hoeveelheden oud asfalt. Inmiddels zijn er in Nederland tien aangepaste installaties in gebruik die geschikt zijn voor partiële regeneratie.

### 7.3.2. Warm hergebruik; oppervlakte-regeneratie

Tot nu toe werd er, wanneer de oppervlakte van een weg te slecht was, een nieuwe laag asfalt aangebracht wanneer althans plaatselijk repareren niet meer kon.

Momenteel zijn er vier vormen van oppervlakteregeneratie in ontwikkeling waarbij asfaltbeton hergebruikt wordt:

Reshape, Regrip, Repave en Remix.

De weg wordt in alle gevallen tot een diepte van enkele centimeters onder het oppervlak verwarmd en gewoeld en vervolgens in situ weer verwerkt. In Frankrijk wordt materieel ontwikkeld dat tot een diepte van 8 cm gaat (zie Bakker- juli 1981, blz. 198). Eerst zal een korte omschrijving van de vier technieken worden gegeven:

- Reshape : verwarmen, omwoelen en opnieuw verspreiden en verdichten zonder enige toevoeging van nieuw materiaal.
- Regrip : zelfde als reshape maar de gewoelde laag wordt afgestrooid met steenslag voor de stroefheid.
- Repave : op de verwarmde en gewoelde laag wordt een extra laag nieuw materiaal van maximaal enkele centimeters aangebracht. Een normale nieuwe top laag is doorgaans 4 cm dik.
- Remix : opnemen van de verwarmde en losgewoelde laag in een machine, mengen met nieuw materiaal en direkt gevolgd door verwerking. In Duitsland is een voorbeeld bekend waarbij 33% nieuw materiaal werd toegevoegd (zie Bakker - juli 1981, blz. 198).

Met Remix-systemen is in Nederland nog vrijwel geen ervaring opgedaan. Over de toepassing van Reshape- en Regrip-systemen wordt in Nederlandse literatuur vrijwel niets vermeld. Met Repave-machines zijn diverse proeven uitgevoerd waarvan de resultaten bevredigend waren.

Ter opheffing van ernstige onvlakheid in de lengte-richting van de weg blijkt deze methode minder geschikt (zie Hendriks- juli 1981, blz. 210). De toepassing van deze methode op weggedeelten in RW-321 en RW-263 leidde tot 50% materiaalbesparing en in totaal minder kosten (zie NIRIA - Syllabus - 1981, deel opp.regeneratie blz.7)

Vergelijkt men de Repave-techniek met de konventionele oplossing van 0,04 m. overlaag dan blijkt in het geval van een weg met 2x2 rijstroken de kosten 30% lager te liggen. Bij minder rijstroken valt de repave-techniek echter duurder uit (zie Bakker- juli 1981, blz. 203).

In tegenstelling tot het aanbrengen van een nieuwe laag is in alle bovengenoemde gevallen geen of slechts gedeeltelijk nieuw materiaal nodig.



### 7.3.3. Koud hergebruik

Onder koud hergebruik van asfalt worden alle methoden verstaan waarbij zowel in situ als in een installatie oud asfalt door verkleining en eventueel menging met nieuw materiaal zonder verwarmen geschikt wordt gemaakt voor het gebruik. Het materiaal wordt toegepast als *funderingsmateriaal*. In feite zijn er twee soorten:

#### a. Ongebonden breekasfalt

Gemengd met zand vertoont het produkt bij een statische belasting een grote kruip waardoor het draagvermogen beperkt is.

#### b. breekasfaltcement

Gemengd met cement verkrijgt men veel betere resultaten. Breekasfaltcement met een dikte van 0,25 m kan als equivalent worden beschouwd van 0,10 m grindasfaltbeton (zie Hendriks-juli 1981, blz. 208).

In de V.S. bedragen de kosten van koude regeneratie 35% à 50% van de kosten van uitfrezen en inbrengen van nieuw materiaal dan wel overlagen. Het energieverbruik is slechts ongeveer 20% van dat bij gebruik van nieuw materiaal.

### 7.3.4. Konklusies

Asfalt heeft de unieke eigenschap dat bij hergebruik ook het oude bindmiddel weer kan worden geactiveerd. Het ligt economisch en energetisch binnen de mogelijkheden om een volledig hergebruik te bereiken tot het oorspronkelijke kwaliteitsnivo. De vereenvoudigde kostenvergelijking van normaal cementbeton en kringloopbeton geldt in principe ook voor asfaltbeton en valt positief uit in het voordeel van het hergebruik van asfaltbeton (zie 7.2.1.). Voor vrijwel elke situatie is hergebruik mogelijk, omdat gekozen kan worden uit een aantal processen. Naast het Renofalt-procédé voor grote projecten kunnen normale asfaltinstallaties voor partieel hergebruik ingezet worden ten behoeve van het gespreide aanbod van asfaltpuin.

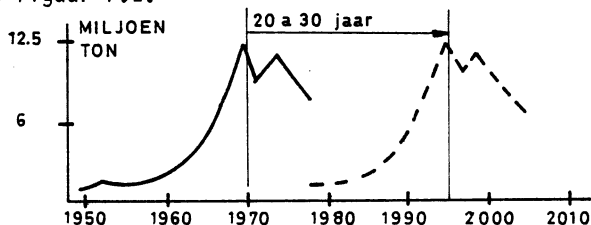
Gezien de resultaten die geboekt zijn bij het warm hergebruik, zou men kunnen konkluderen dat opgebroken asfalt in feite een te hoogwaardig produkt is om als funderingsmateriaal in de vorm van breekasfaltcement gebruikt te worden. Breekasfaltcement is zondermeer energetisch het aantrekkelijkst vanwege het koude hergebruik, maar men heeft dus wel 2,5 maal zoveel hoogwaardig materiaal nodig om een laag te maken die wat betreft draagkracht gelijkwaardig is aan een laag geregenereerde grindasfaltbeton. In de V.S. schat men dat in 1985 30% van alle in de wegenbouw toepaste mengsels voor een deel zullen bestaan uit reeds eerder gebruikte produkten (wegen, mei 1980, blz. 133 ).

### *Hoeveelheden te besparen grindequivalenten*

Bij de raming van de hoeveelheden te besparen grindequivalenten moeten de oppervlakte - regeneratie-technieken los gezien worden van het warm hergebruik met behulp van een vaste menginstallatie en het koud hergebruik. Bij de oppervlakteregeneratie-technieken dient het oppervlak aan wegdek als uitgangspunt voor de raming. Bij de laatste twee methodes dienen de hoeveelheden opgebroken asfaltbeton als uitgangspunt. Als eerste zal nu onder punt a een raming gemaakt worden van de hoeveelheden te besparen grindequivalenten door het warm hergebruik met behulp van een vaste menginstallatie en het koud hergebruik. Daarna wordt onder punt B de te besparen hoeveelheden geraamd door de toepassing van oppervlakteregeneratietechnieken.

#### *A - Te besparen hoeveelheden door hergebruik opgebroken asfaltbeton.*

In 1977 en 1978 bedroeg de hoeveelheid opgebroken asfaltbeton 0,6 à 0,7 mln.ton per jaar (zie Niria - 1981, blz. I-5). Deze totale hoeveelheid is opgebouwd uit het merendeel geringe hoeveelheden die geschikt zijn voor partiële regeneratie. Het Renofalt-procédé is geschikt voor omvangrijke rekonstruktieprojecten. Uitgaande van een levensduur van 20 à 30 jaar voor een konstruktie en uitgaande van de hoeveelheden geproduceerd asfalt in de loop der jaren kan men konkluderen dat er in de toekomst meer omvangrijke rekonstrukties zullen volgen, zie figuur 7.1.



Bron : zie bijlage 18  
Figuur 7.1.: *Produkties warm asfalt*

Zoals uit bijlage 18 blijkt bezit Nederland thans meer dan 160 miljoen ton aan asfaltverhardingen. De huidige hoeveelheden opgebroken asfaltbeton zijn min of meer beschikbaar gekomen doordat men bij rekonstrukties gedwongen was deze op te breken. Het Renofaltprocédé kan worden toegepast op slechte weggedeelten die anders niet opgebroken zouden worden maar op een andere manier hersteld/gereconstrueerd zouden zijn.

Op plaatsen waar de ondergrond goed is zoals in het oosten en in het zuiden van het land zal waarschijnlijk een weggedeelte er nooit uitgebroken worden. Het merendeel van de asfaltverhardingen zal daarom nooit worden opgebroken.

Op dit moment wordt bij het Renofalt-project 0,1 mln. ton asfalt per jaar verwerkt. Voor partiële regeneratie is 0,6 à 0,7 mln. ton opgebroken asfaltbeton per jaar beschikbaar. Het lijkt daarom alleszins redelijk om aan te nemen dat in 1990 door middel van warm hergebruik met behulp van vaste menginstallaties en koud gebruik ongeveer 0,8 miljoen ton asfalt hergebruikt zal worden.

Deze hoeveelheid kan beschouwd worden als *ondergrens*.

Een *bovengrens* is veel moeilijker aan te geven. Gezien de hoeveelheden geproduceerd warm asfalt in Nederland en de gemiddelde levensduur van een wegkonstructie zou deze hoeveelheid kunnen oplopen tot 2 miljoen ton per jaar in 2000.

Gezien het bovenstaande zou men de volgende hoeveelheden grind-equivalenten kunnen besparen door warm hergebruik met behulp van een vaste menginstallatie en koud hergebruik van opgebroken asfaltbeton, zie tabel 7.5:

	Opgebroken		Asfaltbeton	
	Minimum	maximum	minimum	maximum
Jaar	mln. ton asfaltbeton		mln. ton grindequivalenten	
1990	0,8	1,2	0,4	0,6
2200	1	2	0,5	1

Tabel 7.5 *Hoeveelheden te besparen grindequivalenten door warm hergebruik met behulp van een vaste menginstallatie en koud hergebruik van opgebroken asfaltbeton.*

De hoeveelheden te besparen grindequivalenten uit tabel 7.5. zijn weer opgenomen in overzichts-tabel 7.7. aan het einde van het hoofdstuk.

B- *Te besparen hoeveelheden door toepassing oppervlakte-regeneratie.*

Wat de oppervlakte-regeneratie betreft het volgende:

De dikte van een asfaltbeton-verharding bedraagt ongeveer 20 à 24 cm exclusief de fundering. De bovenste laag bestaande uit grof-dicht-asfaltbeton bedraagt 4 cm.

Dit is 1/5 à 1/6 deel van de totale asfaltkonstruktie. In Nederland ligt dus globaal 30 à 25 mln. ton asfaltbeton in bovenste lagen.

Uitgaande van een levensduur van 20 jaar betekent dat per jaar 1,25 à 1,5 mln. ton asfalt als nieuwe overlaag zal worden aangebracht.

Dit is aan de lage kant want in 1981 is 1,9 mln ton van de 6,4 mln. ton verwerkt asfalt bestemd voor nieuwe wegen; de rest is dus onderhoud, verbreding enz. (zie Wegen maart, - 1982, blz. 80).

Ervan uitgaande dat bij oppervlakte-regeneratie-technieken 50% materiaal bespaard wordt, kan als *bovengrens* worden aangehouden dat in de toekomst ongeveer 0,8 mln. ton asfalt per jaar bespaard zal worden.

De *ondergrens* is op dit moment in feite nog nul.

Aannemende dat in 2000 de oppervlakte-regeneratietechnieken volledig operationeel zullen zijn, ontstaat het volgende totaaloverzicht van de te besparen grindequivalenten door toepassing van oppervlakte - regeneratietechnieken, zie tabel 7.6.:

	Losgewoeld		Asfaltbeton	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Jaar	Mln. ton	Asfaltbeton	Mln. ton	grindequivalenten
1990	0	0,4	0	0,2
2000	0,4	0,8	0,2	0,4

Tabel 7.6. *Hoeveelheden te besparen grindequivalenten door toepassing van oppervlakte-regeneratietechnieken*

Ook deze hoeveelheden te besparen grindequivalenten zijn weer opgenomen in overzichtstabel 7.7 aan het einde van dit hoofdstuk.

Grind-vervangend/ besparend materiaal	Mogelijke besparing in miljoen ton grindequivalenten				T A B E L	Methodiek of soort beton	Kwaliteit 1)					
							Cementbeton		Asfaltbeton			
	1990		2000				Laag	Middel matig	Hoog	Laag	Middel matig	Hoog
	Min	Max	Min	Max								
Cementbeton-puin	0,2	1,1	0,4	2,6	7.4	Kringloopbeton			x		n.v.t.	
Beton	0	0	0	0		Demonteerbaar bouwen			x		n.v.t.	
Opgebroken asfaltbeton	0,4	0,6	0,5	1,0	7.5	Renofalt-procédé(100% regeneratie)			n.v.t.		x	
						Aduco-procédé(partiële regeneratie)			n.v.t.		x	
						ongebonden breekasfalt			n.v.t.		x	
						breekasfaltcement			n.v.t.		x	
Losgewoeld asfaltbeton	0	0,2	0,2	0,4	7.6	Oppervlakte-regeneratie			n.v.t.		x	x

Tabel 7.7.    *Overzicht mogelijke besparing van grind en gebroken grind door hergebruik van cementbeton en asfaltbeton*

1) In de tabel is tevens aangegeven of met behulp van de grindbesparende materialen/technieken een lage, middelmatige of hoge kwaliteit cementbeton en asfaltbeton kan worden gemaakt.  
Het begrip kwaliteit moet ruim opgevat worden; het is een gemiddelde van alle mogelijke materiaalkarakteristieken.

# VERVANGING VAN HET TOESLAGMATERIAAL GRIND

## 8.1. INLEIDING

In dit gedeelte zal een aantal materialen worden behandeld die als vervanging kunnen dienen voor het toeslagmateriaal grind in cementbeton en asfaltbeton.

Het uiteindelijke doel is te komen tot schattingen hoeveel grind er in 1990 - 2000 vervangen kan worden.

Daarvoor is het nodig in het kort aan te geven wat voor een materiaal het betreft, wat de huidige en in ontwikkeling zijnde toepassingen zijn met betrekking tot cement- en/of asfaltbeton en wat de technische en economische perspectieven zijn, althans voor zover mogelijk.

Sommige materialen worden erg summier behandeld omdat er nog weinig over bekend is.

In de eerste plaats zal worden gekeken naar die materialen die op dit moment nog geen of weinig grind vervangen of besparen en die in Nederland in redelijke grote hoeveelheden aanwezig zijn of beschikbaar komen.

Vooraf voor licht- cementbeton zijn vele lichte toeslagmaterialen ontwikkeld; deze zullen als laatste behandeld worden.

Voorzover is na te gaan in de literatuur komen de volgende materialen in aanmerking om grind in de toekomst als toeslagmateriaal te vervangen in cement- en/of asfaltbeton:

- . metselwerkpuin en cementbetonpuin
- . opgebroken asfaltbeton ( is behandeld in paragraaf 7.3).
- . mijnsteen
- . vliegashuis
- . vuilverbrandingslakken
- . kolenslakken (bodemas)
- . hoogovenslakken
- . staalslakken
- . fosforslakken
- . bestaande lichte toeslagmaterialen voor lichtbeton

Bovengenoemde materialen zullen achtereenvolgens worden behandeld. Per materiaal zullen ramingen worden gemaakt hoeveel grind-equivalenten daardoor vervangen kunnen worden.

Aan het einde van dit hoofdstuk is een verzameltabel opgenomen met de te vervangen hoeveelheden grindequivalenten voor elk van bovengenoemde materialen.

Materialen die in de literatuur besproken worden om eventueel als grindvervanging te dienen maar waarvan 100% zeker is gebleken dat ze ongeschikt zijn, worden niet behandeld en zijn ook niet opgenomen in bovengenoemde lijst. Voorbeelden van dergelijke materialen zijn afvalglas en afvalgips dat vrij komt bij de produktie van kunstmest (zie Haskoning - 1982, blz. 41 en 44).

## 8.2. METSELWERKPUIN EN CEMENTBETONPUIN

Om puin geschikt te maken als toeslagmateriaal moet het worden ontdaan van verontreinigingen. Het moet worden gescheiden in soorten en daarna moet het worden gebroken en gezeefd. Het breken is in principe besproken bij het onderdeel kringloopbeton in paragraaf 7.2.1. Metselwerkpuin heeft een porositeit van ongeveer 30% en de sterkte van het materiaal is niet hoog. Betonpuin is daarentegen een veel minder poreus en sterker materiaal (zie SCW - 1980, blz. 24). Metselwerkpuin en cementbeton worden o.a. gebruikt voor:

- . funderingslagen in wegen
- . verharding van paden enz.
- . als ballastbad voor spoorwegen
- . als toeslagmateriaal in cementbeton/asfaltbeton

Er zijn vier mogelijkheden om het puin te gebruiken:

- a- grind in cementbeton vervangen door cementbetonpuin.
- b- grind in cementbeton vervangen door metselwerkpuin.
- c- grind in asfaltbeton vervangen door cementbetonpuin.
- d- grind in asfaltbeton vervangen door metselwerkpuin.

ad a) *Cementbetonpuin in cementbeton: kringloopbeton*

De vervanging van grind in cementbeton door cementbetonpuin is behandeld bij het hergebruik van cementbeton, bij het onderdeel kringloopbeton in paragraaf 7.2.1. Het betreft hier dus hergebruik van cementbeton maar ook vervanging van het toeslagmateriaal grind.

ad b) *Metselwerkpuin in cementbeton: baksteenbeton*

Het gipsgehalte van het puin moet lager zijn dan 1,5% anders treedt er scheurvorming in het beton op als gevolg van de ettringiet-reaktie. De houtverontreiniging moet aan een maximum gebonden worden in verband met swelling van het hout en vertraging van het verhardingsproces.

In het algemeen kan worden gesteld dat metselwerkpuin te vergelijken is met een licht toeslagmateriaal als korlin. De druksterkte kan 60 à 80% zijn van die van grindbeton (zie SCW - 1980, blz. 25).

Voor baksteenbeton is na de tweede wereldoorlog in de BRD een norm opgesteld voor zogenaamd dicht-baksteenbeton en poreus-baksteenbeton. Dicht-baksteenbeton kan als konstruktief beton gebruikt worden (zie Haskoning-1982, blz. 32).

ad c) *Cementbetonpuin in asfaltbeton: breekbetonasfalt:*

Behalve de holle ruime voldoet breekbetonasfalt aan de bestaande eisen voor tussenlagen en voor toplagen tot en met verkeers-klasse 3. Van een nadelig effect van de hoge inwendige holle ruimte op de duurzaamheid is tot op heden niets gebleken (zie Bakker - juli 1981, blz. 211).

ad d) *Metselwerkpuin in asfaltbeton: puinasfalt*

Voorwat betreft de meeste materiaal- karakteristieken leveren proeven met dit materiaal goede resultaten op, alleen de holle ruimte is 20% hoger dan is toegestaan bij grindasfaltbeton. Ten gevolge van de hoge porositeit is 6½ % meer bitumen nodig dan hetgeen voor grindasfaltbeton gebruikelijk is; dit is een groot nadeel (zie SCW- 1980, blz. 25).

Puinasfalt met een dikte van 0,17 à 0,15 m blijkt op grond van vermoeiingsonderzoek equivalent met 0,10 m grindasfaltbeton (zie de Groot- 1977, blz. 409).

Samenvattend kan gesteld worden dat cementbetonpuin een veel hoogwaardiger materiaal is dan metselwerkpuin.

Cementbetonpuin kan zowel in cementbeton als asfaltbeton het grind goed vervangen.

Metselwerkpuin kan ook worden toegepast in cementbeton. In asfaltbeton lijkt de toepassing minder goed.

Voor een eenvoudige kostenafweging wordt verwezen naar het gedeelte over kringloopbeton. Daaruit bleek dat toepassing van gebroken puin wel degelijk perspectieven kan bieden.

Betonpuin en metselwerkpuin wordt door slopers meestal gratis aangevoerd bij de brekerijen. Op vele punten in het land worden brekerijen en verwerkingsinrichtingen in bedrijf gesteld.

#### *Hoeveelheden te besparen/vervangen grindequivalenten*

Voor de beschikbare hoeveelheden cementbetonpuin en metselwerkpuin wordt verwezen naar paragraaf 7.2.1., tabel 7.3.

Verder wordt uitgegaan van de volgende bruikbaarheidspercentages, zie tabel 8.1.:

Jaar	Metselwerk - puin	Cementbeton- puin
1990	50%	50%
2000	50%	70%

Tabel 8.1. *Bruikbaarheidspercentages van metselwerk- en cementbetonpuin*

Voor de onderbouwing van de verschillende bruikbaarheidspercentages wordt verwezen naar paragraaf 7.2.1.

Uitgaande van de te verwachten hoeveelheden puin uit alle drie sectoren van de bouwnijverheid uit tabel 7.3 en de bruikbaarheidspercentages uit tabel 8.1 kunnen de maximaal potentieelbruikbare hoeveelheden cementbeton- en metselwerkpuin voor 1990 en 2000 berekend worden, zie tabel 8.2.



	Metselwerk- puin	Cementbeton- puin
Jaar	in miljoen ton	
1990	2,6	1,1
2000	3,5	2,6

Tabel 8.2. *Maximaal potentieel bruikbare hoeveelheden cementbetonpuin en metselwerkpuin in mln. ton.*

Verder wordt aangenomen dat het stortgewicht van cementbetonpuin gelijk is aan het stortgewicht van grind en dat het stortgewicht van metselwerkpuin 0,7 maal het stortgewicht van grind is. De maximaal potentieel bruikbare hoeveelheden puin uitgedrukt in grindequivalenten worden dan, zie tabel 8.3:

	Metselwerk- puin	Cementbeton- puin
Jaar	mln. ton grindequivalenten	
1990	3,7	1,1
2000	5,0	2,6

Tabel 8.3. *Maximaal potentieel bruikbare hoeveelheden puin in mln. ton grindequivalenten*

Bovengenoemde hoeveelheden moeten dus als *bovengrens* gezien worden. Momenteel wordt metselwerkpuin vrijwel nog niet toegepast als grindvervanging in cement- en asfaltbeton. Daarom wordt voor 1990 de *ondergrens* nul aangehouden. Gezien de enorme beschikbare hoeveelheden metselwerkpuin en de technische mogelijkheden die er zijn, mag toch wel worden verwacht dat in 2000 0,3 mln. ton grindequivalenten metselwerkpuin zal worden toegepast.

Voor het cementbetonpuin blijven de *ondergrenzen* gelden zoals vermeld in tabel 7.4 bij het kringloopbeton, onder de aanname dat de toepassing van cementbetonpuin in asfaltbeton zowel in 1990 als in 2000 nul zou kunnen zijn.

Bovengenoemde hoeveelheden geven dan uiteindelijk de volgende minimale en maximale hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van cementbetonpuin en metselwerkpuin als toeslagmateriaal in cement en/of asfaltbeton, zie tabel 8.4.

	Metselwerkpuin		Cementbetonpuin	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Jaar	mln. ton. grindequivalenten			
1990	0	3,7	0,2	1,1
2000	0,3	5,0	0,4	2,6

Tabel 8.4. *Hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van cementbetonpuin en metselwerkpuin als toeslagmateriaal in cement- en/of asfaltbeton.*

De hoeveelheden te vervangen grindequivalenten uit tabel 8.4. zijn opgenomen in overzichtstabel 8.11 aan het einde van het hoofdstuk.

Het hergebruik van cementbeton en de vervanging van het toeslaggrind in cementbeton door cementbetonpuin zijn niet zo strikt te scheiden. Bovendien kan cementbetonpuin ook in asfaltbeton gebruikt worden. Dit is de reden waarom tabel 8.4 de in paragraaf 7.2.1. opgenomen tabel 7.4. vervangt.

### 8.3. MIJNSTEEN

Mijnsteen is de afvalsteen die afkomstig is uit de kolenmijnen. De hoeveelheid in Nederland zou ca. 30 mln ton bedragen. (zie SCW-1980, blz. 12). Andere bronnen vermelden een hoeveelheid van 100 mln. ton (zie Kreyger - 1977, blz. 51). De samenstelling en eigenschappen van mijnsteen zijn erg variabel. In feite zijn er drie soorten mijnsteen:

- . ongebrande mijnsteen van oude winningen (zwart)
- . ongebrande mijnsteen van recente winningen (zwart)
- . gebrande of rode mijnsteen

De ongebrande mijnsteen van oude winningen bevat veel koolstof als gevolg van de toentertijd onvolkomen wastechniek, daardoor heeft dit type nog een verbrandingswaarde.

De gebrande mijnsteen is in sommige mijnsteenbergen gevormd door verbranding onder hoge druk (zie Bakker - 1979 blz. 270).

De hoeveelheid mijnsteen in Nederland neemt niet meer toe.

In België en Duitsland waar kolen gewonnen worden, neemt de hoeveelheid echter nog steeds toe.

De verwerking van mijnsteen in Limburg vindt plaats in het kader van de sanering en de herinrichting van de mijnterreinen.

Voor mijnsteen zijn en worden nog steeds allerlei toepassingen ontwikkeld zoals o.a.:

- . terreinophogingen, vullen van grindgaten, wegfunderingen.
- . tennisbanen, tuinpaden, erfverhardingen enz.
- . stortsteen ten behoeve van de Deltawerken; om prijstechnische redenen is men hiervan teruggekomen.
- . toepassing in de baksteen- en cementindustrie.
- . toeslagmateriaal in cementbeton.
- . als brandstof; de fraktie kleiner dan 4 mm wordt dan gemengd het afvalolie; de calorische waarde komt dan overeen met die van vochtrijke bruinkool (zie SCW - 1980, blz. 38).

In de literatuur wordt weinig vermeld over de toepassing van mijnsteen als toeslagmateriaal in cementbeton of asfaltbeton. Mijnsteenkorrels zijn in principe bruikbaar als toeslagmateriaal in beton. Het toepassen van zwarte mijnsteen in beton heeft het probleem dat door een toenemend koolstofgehalte de waterbehoefte stijgt waardoor de sterkte- ontwikkeling daalt. Bij rode mijnsteen is dit probleem niet aanwezig (zie Bakker - maart 1981, blz. 189).

Vanuit energetisch oogpunt zou het niet zinvol zijn om de ongebrande mijnsteen toe te passen als toeslagmateriaal in beton. Een reservering van de ongebrande mijnsteen voor toepassingen waarbij de aanwezige koolstof een energiebesparing geeft, zoals in de baksteenindustrie en in de cementindustrie, ligt veel meer voor de hand.

De sterkte- eigenschappen van mijnsteenbeton zouden lager zijn dan die voor grindbeton. Voorts zou reeds bij een zwak agressief milieu gevaar voor aantasting bestaan (zie Haskoning - 1982, blz. 36).

Ballast- Nedam heeft vorig jaar in Limburg een installatie gebouwd die bouw- en sloopafval, mijnsteen en staalslakken verwerkt. Een tweede fabriek in Noord-Limburg wordt overwogen (zie Volkskrant, 8-12-1981).

Het vervaardigen van lichte toeslagmaterialen uit mijnsteen met behulp van een sinterproces is technisch geen probleem en is ook in Nederland onder de produktnaam Hollith reeds toegepast.

De produktie hiervan is toentertijd om economische redenen stop-gezet (zie Bakker - maart 1981, blz. 189).

De mijnsteen werd in de wasserij van de steenkool gescheiden nadat van te voren zandsteen verwijderd was. Het droge stortgewicht van Hollith varieert van 450 kg/m<sup>3</sup> tot 750 kg/m<sup>3</sup>. In het algemeen zijn de sterkte-eigenschappen van Hollith 17% lager dan die van grindbeton (zie CUR-48, blz. 136).

Een nadeel van mijnsteen ten opzichte van vliegias, dat hierna wordt behandeld, is dat mijnsteen reeds gestort is, zodat niet meer op de stortkosten bespaard kan worden. Voor mijnsteen gelden overigens wel subsidieregelingen in het kader van de mijnterrein-sanering.

Een ander nadeel van mijnsteen ten opzichte van andere afvalstoffen is dat het uit Limburg moet komen. Daardoor zijn de transportkosten naar de rest van Nederland hoger. Het lijkt daarom niet waarschijnlijk dat gesinterde mijnsteen voordeliger zal worden dan bijvoorbeeld gesinterde vliegias.

Mijnsteenkorrels zullen waarschijnlijk wel als toeslagmateriaal toegepast worden in cementbeton. Dit beton heeft geen hoge kwaliteit en kan niet worden toegepast in een agressief milieu.

#### *Hoeveelheden te besparen/vervangen grindequivalenten*

Er wordt verwacht dat in 1990 jaarlijks een hoeveelheid grind van ca. 0,5 mln. ton vervangen zal worden door mijnsteenkorrels (zie Haskoning - 1982, blz. 43).

Gezien de grote onzekerheden met betrekking tot het gebruik van mijnsteen als grindvervangend materiaal wordt zowel voor 1990 als 2000 dit als *ondergrens* aangehouden. Gezien de enorme hoeveelheden mijnsteen in Nederland en ook in het buitenland en de technische mogelijkheden zou in 2000 de *bovengrens* op maximaal 1,5 mln. ton aangenomen kunnen worden.

Uiteindelijk krijgt men dan het volgende totaaloverzicht. zie tabel 8.5.:

	Mijnsteen	
	Minimum	Maximum
Jaar	Mln. ton grindequivalenten	
1900	0,5	0,5
2000	0,5	1,5

Tabel 8.5 *hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van mijnsteen als toeslag-materiaal in cement-beton.*

De hoeveelheden te vervangen grindequivalenten uit tabel 8.5. zijn weer opgenomen in overzichtstabel 8.11 aan het einde van dit hoofdstuk.

#### 8.4. VliegAS

VliegAS is het as-bestanddeel dat samen met de rookgassen vrijkomt bij het stoken van kolen in elektriciteitscentrales en bij vuilverbrandingsinstallaties.

Als gevolg van de schaarste aan aardolie en ook aardgas zal in de komende jaren meer steenkool in elektriciteitscentrales worden gebruikt met als gevolg dat een grote hoeveelheid vliegAS beschikbaar zal komen. In 1975 zijn in Nederland de volgende hoeveelheden vliegAS geproduceerd (zie Bakker- maart 1981, blz. 183):

- . 0.5 mln. ton uit kolengestookte energiecentrales
- . 0.1 mln. ton uit vuilverbrandingsinstallaties.

Het dumpen van vliegAS heeft een aantal bezwaren, zoals: ruimtebeslag, kosten zonder economisch nut en vervuiling van het milieu. Daarom wordt er gezocht naar economische en milieuhygiënische verantwoorde oplossingen.

Vanuit milieuhygiënisch oogpunt kan het vliegAS het beste als gebonden toepassing worden gebruikt. Gezien de stoffen die tot vorming van vliegAS in afvalverbrandingsinstallaties leiden is de KonstAndheid van de samenstelling zeer variabel. Voor vliegAS uit kolen ligt dit gunstiger. De samenstelling is ook hier afhankelijk van de soort kolen. Voor vliegAS uit kolen zijn de laatste jaren allerlei toepassingen ontwikkeld:

- . toevoegingen aan betonmortel voor gunstiger sterkte-eigenschappen.
- . vervanging van cement.
- . vulstof in asfalt.
- . toevoeging in zandcement-stabilisaties.
- . kunstgrind.

Doordat alleen de laatste toepassing tot een reductie van het grindverbruik leidt zal hier verder op ingaan worden en zal getracht worden aan te geven welke hoeveelheden vliegAS in de toekomst beschikbaar komen om er kunstgrind van te maken.

De PGEM heeft besloten in Nijmegen een fabriek te bouwen om kunstgrind met de produktnaam lytag te gaan maken. Deze investering vergt 30 miljoen gulden. De PGEM is een overeenkomst aangegaan met het Engelse bedrijf lytag. Lytag is gesinterde vliegas. Uit 1 ton vliegas kan 1 ton lytag gemaakt worden. Deze fabriek gaat in 1984 165.000 ton lytag per jaar produceren. Het stortgewicht van dit produkt is 800 kg./m<sup>3</sup> bij een diameter van 12 mm en 1100 kg./m<sup>3</sup> bij een diameter kleiner dan 5 mm. Lytag is bruikbaar in alle betonklassen tot aan B 60. In de veel gebruikte betonklassen B 17,5 en B 22 is lytag zeer goed bruikbaar. Bij de PGEM denkt men voorlopig aan toepassing als lichte toeslagstof in betonwaren, maar lytag is ook goed gebruik in konstruktiebeton. In de geraadpleegde literatuur staat weinig vermeld over de toepassing van gesinterde vliegas in asfaltbeton.

De prijs van de gesinterde vliegas, de pellets, is ongeveer f 23,- à f 30,- per ton vanaf de fabriek (zie Haskoning - 1982, blz. 43).

De storkosten van vliegas bedragen ongeveer f 10,- à f 20,- per ton (zie SCW-1980, blz. 163); dit is bevestigd door de PGEM. Deze storkosten bespaart men dus indien van vliegas grind wordt gemaakt. De produktiekosten liggen dus op f 33,- à f 50,- per ton.

De prijs van grind is ongeveer f 16,- per ton, hierbij komen nog lossingskosten en vervoer naar verbruiker; deze prijs geldt voor het westen van Nederland. Lytag is echter tweemaal zo licht als grind. Voor dezelfde korrelinhoud heeft men dus vergeleken met grind maar de helft van het gewicht nodig. Lytag mag dus een prijs hebben van f 32,- per ton om konkurierend te zijn.

Er kan dus gekonkludeerd worden dat Lytag een hoogwaardig materiaal is dat voor wat betreft de konstruktieve materiaal-karakteristieken equivalent is met grind. Vanuit de afvalstoffen-problematiek gezien is het zinloos het ene afvalmateriaal met de andere te laten concurreren; het probleem wordt dan alleen maar verplaatst. Daarom is het erg zinvol dat voor vliegas een hoogwaardige specifieke toepassing kan worden gevonden die economisch gezien nog haalbaar blijkt ook.

#### *Hoeveelheden te besparen/vervangen grindequivalenten*

Uitgaande van het gemiddelde tussen het hoge en lage scenario voor de raming van de hoeveelheden kolen ten behoeve van elektriciteitscentrales tot het jaar 2000 uit de Nota Energiebeleid deel 2 ontstaat het volgende totaalbeeld van de benodigde hoeveelheid kolen per jaar:

1990: 8 miljoen ton

2000: 15 miljoen ton

Gemiddeld hebben gestookte kolen een gehalte aan asbestanddelen van 12%. Hiervan is 80% vliegas en 20% komt vrij in de vorm van sintels, ook wel grove as of bodemas genoemd. Dus globaal 10% van de hoeveelheid gestookte kolen wordt omgezet in vliegas. De raming van de hoeveelheid vliegas die per jaar in 1990 en 2000 zal ontstaan wordt dan:

1990: 0,8 mln. ton vliegas.  
2000: 1,5 mln. ton vliegas.

Verder wordt aangenomen dat het stortgewicht van Lytag gemiddeld genomen de helft is van het stortgewicht van grind.  
Bovengenoemde hoeveelheden vliegas komen dan overeen met de volgende hoeveelheden grindequivalenten:

1990: 1,6 mln. ton grindequivalenten.  
2000: 3,0 mln. ton grindequivalenten.

Deze hoeveelheden geven dus een *bovengrens* aan van de mogelijke vervanging van grind door het gebruik van vliegas.  
Voor de *ondergrens* in 1990 en 2000 wordt de produktie van Lytag aangehouden die in 1984 165.000 ton zal bedragen. Dit komt overeen met 0,3 mln. ton grindequivalenten.  
Resumerend krijgt men dan de volgende minimale en maximale hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van gesinterde vliegas, zie tabel 8.6:

Jaar	Gesinterde vliegas	
	Minimum	Maximum
	mln. ton grindequivalenten	
1990	0,3	1,6
2000	0,3	3,0

Tabel 8.6 *Mogelijke hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van gesinterde vliegas als toeslagmateriaal in cementbeton.*

Deze tabel is niet opgenomen in overzichtstabel 8.11 aan het einde van dit hoofdstuk in verband met het feit dat een deel van bovengenoemde hoeveelheden vliegas bestaande lichte toeslagmaterialen zal verdringen. In dat geval is er geen sprake van grindvervanging.

In paragraaf 8.10 waar de bestaande lichte toeslagmaterialen worden behandeld zal tabel 8.6 worden aangepast.

## 8.5 VUILVERBRANDINGSSLAKKEN.

Slakken kunnen zeer sterk uiteenlopen in samenstelling en eigenschappen. Slakken zijn resten van een of ander verbrandingsproces waarbij steenachtige materialen aan elkaar zijn gesinterd of gesmolten.

In Nederland worden de volgende slakken geproduceerd:

- . vuilverbrandingsslakken
- . kolenslakken (bodemas)
- . hoogovenslakken en staalslakken
- . fosforslakken

In deze paragraaf zullen de vuilverbrandingsslakken worden behandeld. Deze slak heeft momenteel de volgende toepassingen:

- . als zandfractie voor wegophogingen

- . in steenfunderingen voor wegen
- . in erfverhardingen
- . als toeslagmateriaal in ongewapend cementbeton en in asfaltbeton.

De chemische samenstelling van dit produkt heeft men in feite niet in de hand, omdat de te verbranden stoffen niet steeds dezelfde samenstelling hebben. Indien onvoldoende verbranding heeft plaatsgevonden dan kan dat bij gebruik als toeslagmateriaal in cementbeton het verhardingsproces vertragen en bovendien is er meer cement nodig (zie Bakker- maart 1981, blz. 186). Aluminium en glas in de slakken zijn stoffen die aanleiding kunnen geven tot scheuren, holtes en zwellingen bij toepassing in beton, maar deze bezwaren kunnen worden ondervangen (zie Gels-1980, blz.99).

Vuilverbrandingsslakken zijn niet vrij van chloriden, waardoor toepassing in gewapend beton moet worden uitgesloten. Inmiddels zijn een aantal proefvakken met afvalverbrandingsslakkenbeton (AVS-beton) aangelegd met als konklusie dat het technisch geen probleem is om met vuilverbrandingsslakken lagere cementbeton-kwaliteiten te produceren, waarbij aan het oppervlak niet al te hoge eisen worden gesteld (zie Gels-1980, blz. 105). Uit een prijsvergelijking tussen AVS-beton met een dikte van 26 cm en een equivalente hoeveelheid grindbeton blijkt dat de prijs per  $m^3$  van het AVS-beton lager is, maar dat de prijs per  $m^2$  verharding hoger is, namelijk f 14,46 tegen f 12,63 per  $m^2$ . Hierin kan binnenkort verandering komen, doordat de stortkosten zullen stijgen en doordat de kwaliteit van de slakken verbeterd kan worden (zie Gels-1980, blz.104).

Er bestaat ook een Zweeds procédé om de verbrandingsslakken om te vormen tot een licht toeslagmateriaal waarmee een lichtbeton kan worden vervaardigd (zie Kreyger- 1977, blz.51).

Voorts is de toepassing van vuilverbrandingsslakken als vervanging van het mineraalaggregaat in asfaltbeton onderzocht. Hiertoe is op het terrein van de AVR een proefvak aangelegd met 0,16 m asfaltbeton, waarin het mineraal voor 80% uit vuilverbrandingsslakken bestond.

De meeste materiaal-karakteristieken waren goed. De holle ruimte was evenwel hoog, namelijk 20% (zie SCW-1980, blz. 33).

Binnen enkele jaren lijkt het economisch haalbaar om met vuilverbrandingsslakken lagere cementbetonkwaliteiten te produceren voor de wegenbouw.

Toepassing in asfaltbeton lijkt alleen voorbestemd in het geval van licht belaste wegen.

#### *Hoeveelheden te besparen/vervangen grindequivalenten*

In ons land wordt jaarlijks ongeveer 5 mln. ton huisvuil geproduceerd. Van deze hoeveelheid wordt momenteel 30% in verbrandingsinstallaties verwerkt (zie Gels-1980, blz. 99).

Het overige wordt gekomposteerd of gestort.

De hoeveelheid afval die zal worden verbrand zal vrijwel zeker toenemen door de volgende factoren:

- . De overheid zal waarschijnlijk het aantal stortvergunningen beperken
- . stortkosten zullen hoger worden
- . de benutting van afvalwarmte zal toenemen.

In 1975 is 0,4 mln. ton en in 1976 is 0,45 mln. ton aan vuilverbrandingsslakken geproduceerd (zie Bakker-maart 1981, blz. 183 en Kroonder- 1977, blz. 303).

Onder de aanname dat de geproduceerde hoeveelheid huisvuil in 1990 en 2000 niet drastisch meer zal toenemen, kunnen er, wanneer 100% verbrand wordt, maximaal 1,5 mln. ton slakken geproduceerd worden. Dit zal echter niet gebeuren, omdat een deel toch gekomposteerd wordt. Gezien het bovenstaande lijkt het mogelijk dat in 1990 en 2000 de volgende hoeveelheden aan vuilverbrandingsslakken geproduceerd kunnen worden:

in 1990: 0,6 mln. ton slakken  
in 2000: 1 mln. ton slakken

Bovengenoemde hoeveelheden moeten als een *bovengrens* gezien worden.

Stel dat de technische problemen niet opgelost kunnen worden, dan wordt er vanuit gegaan dat de toepassing in 1990 en 2000 van vuilverbrandingsslakken in cement- en asfaltbeton nihil zou kunnen zijn. Als *ondergrens* wordt daarom nul aangehouden.

Een cementbeton-konstruktie met vuilverbrandingsslakken moet ongeveer 1,5 x zo zwaar gedimensioneerd worden dan een vergelijkbare konstruktie van grindbeton. Het los stortgewicht is 0,8 maal dat van grind (zie Kroonder- 1977, blz. 304). De omrekeningsfaktor naar grindequivalenten is dus:  $1/1,5 \times 1/0,8 = 0,83$ . Door de toepassing van vuilverbrandingsslakken zouden dan de volgende hoeveelheden grindequivalenten bespaard kunnen worden, zie tabel 8.7:

	Vuilverbrandingsslakken	
	Minimum	Maximum
Jaar	Mln. ton grindequivalenten	
1990	0	0,5
2000	0	0,8

Tabel 8.7 *Hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van vuilverbrandingsslakken als toeslagmateriaal in cementbeton en asfaltbeton.*

Bovengenoemde hoeveelheden zijn weer opgenomen in overzichtstabel 8.11.

## 8.6. KOLENSLAKKEN

Uitgaande van de geschatte hoeveelheid kolen in 1990 en 2000 zullen de volgende hoeveelheden kolenslakken of bodemas per jaar ontstaan:

1900: 0,2 mln ton kolenslakken  
2000: 0,4 mln. ton kolenslakken



Hierbij is aangenomen dat de hoeveelheid bodemas 1/4 deel van de geproduceerde hoeveelheid vliegashoudend is, zie paragraaf 8.4.

Over de toepassing van bodemas als toeslagmateriaal voor beton wordt in de literatuur weinig vermeld. Ook is niet bekend of bodemas valt onder de norm NEN 3212 "Sintels als toeslagmateriaal voor lichte betonprodukten" (zie Bakker-maart 1981, blz. 187).

Wel wordt bodemas door Miller en Collins (V.S.) ingedeeld in de klasse met de meeste potentie als grondstof voor de wegenbouw. Volgens Hendriks kan bodemas als toeslagmateriaal dienen in cementbeton en asfaltbeton (zie SCW-1980, blz. 39).

Onderzoek naar de toepassing van bodemas speelt een rol bij het Nationaal Onderzoek Kolen. Gezien de grote onzekerheid met betrekking tot de toepassing van kolenslakken als grindvervangend materiaal zal geen raming worden gegeven van de hoeveelheden te vervangen grindequivalenten.

#### 8.7. HOOGOVENSLAKKEN

Afhankelijk van de procesvoering kunnen bij de bereiding van ruw ijzer de volgende produkten ontstaan:

- . stukslakken
- . schuimslakken (geëxpandeerde slakken)
- . gegranuleerde slakken (slakkenzand)
- . kogelvormige slakken

Stukslakken ontstaan door natuurlijke afkoeling; schuimslakken ontstaan door afkoeling met water; gegranuleerde slakken ontstaan door geforceerde afkoeling met water; kogelvormige slakken ontstaan ook door afkoeling met water, maar worden daarbij in een draaiende trommel geleid waardoor de slak een druppelvorm of kogelvorm aanneemt (zie Bakker- 1979, blz. 264). Kogelvormige slakken worden in Nederland niet gemaakt. De produktie van schuimslakken is in 1950 gestaakt. Van de in Nederland geproduceerde slakken bestaat 90% uit gegranuleerde slakken. De rest bestaat uit stukslakken. Hoogovenslakken worden gebruikt voor de volgende toepassingen:

- . voor hoogovencement (gegranuleerde slakken)
- . als funderingsmateriaal voor wegen (stukslakken en gegranuleerde slakken)
- . als mineraalaggregaat in asfaltbeton en cementbeton (stukslakken).
- . als bijmenging in steenmengsels.

Schuimslakken worden in Groot-Brittannië toegepast als lichtgewicht toeslag, ondermeer voor cementbetonbruggen (zie SCW-1980, blz.31).

De kogelvormige slak kan worden toegepast als lichtgewicht toeslagmateriaal voor gewapend beton. In Frankrijk blijkt dat deze slak kan concurreren met grind (zie Bakker- 1979, blz. 266).

Stukslakken worden met goede resultaten als toeslagmateriaal toegepast in asfalt- en cementbeton (SCW-1980, blz.32). Stukslakken hebben een goede hechting met bitumen en cement. Ze hebben een gunstige uitwerking op het vloeï- en spoorvormingsgedrag van asfaltbeton.

Een nadeel is dat er meer bitumen nodig is. In cementbeton hebben de slakken een warmteïsolerende werking (zie Bakker-1979, blz.266).

Hoogovenslakken kunnen dus worden toegepast als toeslagmateriaal voor cementbeton en asfaltbeton. In Engeland en Duitsland zijn hiervoor normen opgesteld. Gezien echter de hoogwaardige toepassing van Nederlands hoogovenslakken als grondstof voor hoogoven-cement is de toepassing als toeslagmateriaal noch economisch, noch energetisch interessant en in strijd met het streven afval- of bijprodukten zo hoogwaardig mogelijk in te zetten.

In principe is het dus wel mogelijk om slechts stukslakken te gaan produceren voor toepassingen die grind kunnen vervangen.

#### *Hoeveelheden te besparen/vervangen grindequivalenten*

Volgens opgave van de Hoogovens wordt momenteel 4 mln. ton ruwijzer geproduceerd. Hiervan is 30% slak; dit komt overeen met 1,2 mln.ton. Ongeveer 1 mln. ton (90%) hiervan wordt afgeleverd als gegraneerde slak en wordt in hoofdzaak gebruikt voor de cementfabrikage. Deze hoeveelheid dekt maar 70% van de behoefte, de rest moet worden ingevoerd. Het overige deel van de geproduceerde hoeveelheid slakken, ongeveer 0,1 à 0,15 mln. ton (10%), wordt afgeleverd als stukslakken en veel gebruikt als fundering in wegen. Ook stukslakken worden ingevoerd om de behoefte te dekken. Toepassing als mineraalaggregaat in cement- en/of asfaltbeton vindt vrijwel niet plaats en zal in de toekomst ook niet veel plaatsvinden, omdat er een hoogwaardiger toepassing is.

#### 8.8. STAALSLAKKEN

Staalslakken ontstaan bij de omzetting van ruw ijzer in staal. Bij de staalfabrikage ontstaan alleen stukslakken. (zie Bakker-1979, blz. 264).

De toepassingsmogelijkheden zijn minder groot dan bij hoogovenslakken, omdat in sommige gevallen de staalslakken onbestendig zijn wanneer zij vrije kalk bevatten en bij opname van vocht uitzetten. Staalslakken worden op dit moment voor de volgende doeleinden gebruikt:

- In Nederland worden mengsels van 25% staalslakken met 75% hoogovenslakken als funderingsmateriaal toegepast in de wegenbouw.
- Staalslakken vinden ook toepassing in de waterbouw.
- In Frankrijk en de V.S. worden staalslakken als toeslagmateriaal in asfaltbeton toegepast (zie Bakker- 1979, Blz. 267).

Staalslakken zijn in het algemeen ongeschikt om als toeslagmateriaal in cementbeton te worden toegepast vanwege de aanwezigheid van bepaalde chemische stoffen zoals vrije calcium en magnesiumoxyde (zie Bakker- 1981, blz. 187).

Over de toepassing als toeslagmateriaal in asfaltbeton wordt in de literatuur weinig vermeld. De ervaring heeft geleerd dat bepaalde soorten staalslak, afhankelijk van onder meer de bereidingswijze van het staal en de behandeling van de slak, zonder bezwaar kunnen worden toegepast (zie SCW-1981, blz. 133). Vooral slakken die vrijkomen bij het L.D. procédé blijken geschikt. In Frankrijk is gebleken dat de onderzoeksresultaten bemoedigend waren (zie Bakker-1979, blz. 267). In Nederland wordt overigens alleen staal geproduceerd volgens het L.D. procédé. De vrije kalk kan geëlimineerd worden door de slakken bloot te stellen aan lucht.

Samenvattend kan dus worden gesteld dat staalslakken niet als toeslagmateriaal in cementbeton kunnen worden toegepast, maar wel in asfaltbeton.

#### *Hoeveelheden te besparen/vervangen grindequivalenten*

Volgens opgave van de Hoogovens wordt er momenteel jaarlijks 5 mln. ton staal geproduceerd. Hiervan is 11 à 12% slak, dat wil zeggen 0,5 à 0,6 mln. ton. Hiervan gaat weer 25 à 30% terug in het staalprocédé, dat wil zeggen dat er momenteel ongeveer 0,4 mln. ton aan staalslakken wordt geproduceerd.

De staalproductie is in Nederland ooit wel eens 6 mln. ton geweest. Voor de komende jaren verwacht men niet hoger te komen dan 5 mln. ton. Daarom nemen we aan dat in 1990 maximaal 5 mln. ton en in 2000 maximaal 5,5 mln. ton wordt geproduceerd. Het los stortgewicht van staalslakken is ongeveer 2 ton/m<sup>3</sup>, grind heeft een los stortgewicht van 1,8 ton/m<sup>3</sup>.

Zouden alle staalslakken als grindvervanging dienst doen dan kunnen de volgende hoeveelheden *maximaal* vervangen worden:

1990:  $1,8/2,0 \times 5/5 \times 0,4 = 0,4$  mln. ton grindequivalenten  
 2000:  $1,8/2,0 \times 5,5/5 \times 0,4 = 0,4$  mln. ton grindequivalenten.

Als *ondergrens* wordt, gezien de huidige stand van zaken, zowel voor 1990 als 2000 nul aangehouden. Bovengenoemde hoeveelheden leveren het volgende totaalbeeld van de vervanging van grind door staalslakken, zie tabel 8.8:

Staalslakken		
	Minimum	Maximum
Jaar	Mln. ton grindequivalenten	
1990	0	0,4
2000	0	0,4

Tabel 8.8. *Hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van staalslakken als toeslagmateriaal in asfaltbeton*

De hoeveelheden uit tabel 8.8. zijn weer opgenomen in overzichtstabel 8.11 aan het einde van dit hoofdstuk.

### 8.9 FOSFORSLAKKEN

In Europa zijn twee bedrijven, waarvan één bij Vlissingen, waar fosfor gewonnen wordt uit fosfaaterts. Fosforslakken kunnen op 2 manieren gevormd worden:

- . via een granuleerproces kan slakkenzand worden gevormd.
- . door langzame afkoeling ontstaat een stukslak.

In Nederland worden uitsluitend stukslakken gevormd. Het produkt wordt op dit moment als volgt toegepast:

- . als steenfundering voor wegen.
- . als bodembescherming en oeververdediging.

Er zijn geen technische bezwaren om fosforslakken als toeslagmateriaal in cementbeton toe te passen. Het produkt is vrij konstant van samenstelling en bestaat grotendeels uit inert materiaal. Door breken en zeven kan elke gewenste gradering worden verkregen. Met de fosfor-stukslak als toeslagmateriaal kunnen dezelfde betonkwaliteiten worden verkregen als met het normale betonzand en grind (zie Bakker-maart 1981, blz. 187).

Ook de toepassing in asfaltbeton lijkt goed te voldoen (zie SCW- 1980, blz. 32). Fosforslakken kunnen een bepaalde radio-activiteit bezitten, maar de straling blijkt te verwaarlozen (zie Bakker-maart 1981, blz. 187).

Voor zover bekend kunnen fosforslakken dus als vervanging van grind dienen in cementbeton en ook in asfaltbeton.

#### *Hoeveelheden te besparen/vervangen grindequivalenten*

De jaar-produktie aan fosforslakken bedroeg in 1975 0,7 mln. ton (zie Bakker- maart 1981, blz. 3). Als gevolg van de toepassingen in de wegenbouw is de vraag naar fosforslakken thans groter dan het aanbod (SCW- 1980, blz. 33).

Het los stortgewicht van de slakken is ongeveer gelijk aan het stortgewicht van grind.

De vraag naar fosfor, voor het merendeel vanuit de wasmiddelen-industrie, lijkt zich de komende jaren op een stabiel niveau te handhaven.

Zouden alle fosforslakken gebruikt worden voor grindvervanging dan kunnen *maximaal* de volgende hoeveelheden grindequivalenten worden vervangen: in 1990 0,7 mln. ton en in 2000 0,7 mln. ton.

Aangezien de vraag naar fosforslakken voor andere toepassingen dan grindvervanging, op dit moment groter is dan het aanbod wordt zowel voor 1990 als 2000 de *ondergrens* nul aangehouden. In tabel 8.9 zijn bovengenoemde minimale en maximale hoeveelheden te vervangen grindequivalenten voor 1990 en 2000 weer-gegeven. Tevens zijn de hoeveelheden uit tabel 8.9 weer opgenomen in overzichtstabel 8.11 aan het einde van dit hoofdstuk.

	Fosforslakken	
	Minimum	Maximum
Jaar	Mln. ton grindequivalenten	
1990	0	0,7
2000	0	0,7

Tabel 8.9 *hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van fosforslakken als toeslagmateriaal in cement- en/of asfaltbeton.*

#### 8.10 BESTAANDE LICHT TOESLAGMATERIALEN VOOR LICHTBETON.

Voor al voor lichtbeton zijn reeds vele lichte toeslagmaterialen ontwikkeld. Deze bestaande lichte toeslagmaterialen vervangen op dit moment in principe grind. Lichtbeton zou men op 2 manieren kunnen indelen:

- . niet konstruktief lichtbeton
- . konstruktief lichtbeton

Voorwat betreft niet konstruktief lichtbeton kan men stellen dat dit geen grindbeton zal vervangen, omdat grindbeton in hoofdzaak voor konstruktieve doeleinden wordt gebruikt. Mocht er dus in de toekomst veel meer niet konstruktief lichtbeton toegepast gaan worden, dan worden er andere materialen verdrongen dan grindbeton. Technisch gezien is het echter goed mogelijk dat in de toekomst konstruktief lichtbeton grindbeton zou kunnen vervangen. In dat geval is dan wel sprake van grindvervanging.

In Nederland en het buitenland worden/werden voor konstruktief lichtbeton de volgende toeslagmaterialen gebruikt (zie CUR-48, blz. 30):

- . geëxpandeerde hoogovenslakken
- . op sinterband geëxpandeerde leisteen, klei en vliegias.
- . in draaioven geëxpandeerde leisteen, klei en schalie.

In Nederland worden hoofdzakelijk geïmporteerde toeslagmaterialen gebruikt.

Lichtbeton kan niet worden toegepast in een agressief milieu en in voorgespannen beton. In de woningbouw bijvoorbeeld is het in principe wel mogelijk dat konstruktief lichtbeton grindbeton kan vervangen. Dat het op dit moment nog niet op grote schaal gebeurt, komt o.a. doordat de aannemersbedrijven daar niet op zijn ingesteld.

Uit gesprekken met medewerkers van de vakgroep beton van de TH in Delft bleek dat gesinterde vliegias vrijwel zeker de bestaande lichte toeslagmaterialen zal verdringen.

Gezien de vervanging van de verschillende lichte toeslagmaterialen door vliegias wordt de *ondergrens* in tabel 8.6 zowel voor 1990 als 2000 op nul gesteld, omdat er dan geen sprake is van grindvervanging. De maximum hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van vliegias, genoemd in tabel 8.6, moeten om bovengenoemde redenen ook bijgesteld worden. Een probleem hierbij is dat er geen statistisch materiaal voorhanden is met betrekking tot de hoeveelheid geproduceerd konstruktief lichtbeton.

Daarom wordt als *bovengrens* aangehouden dat de helft van de in tabel 8.6 genoemde maximale hoeveelheden vliegias grind als toeslagmateriaal zal kunnen vervangen.

Uiteindelijk krijgt men dan de volgende minimale en maximale hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van gesinterde vliegias, zie tabel 8.10

	Gesinterde vliegias	
	Minimum	Maximum
Jaar	mln. ton grindequivalenten	
1990	0	0,8
2000	0	1,5

Tabel 8.10 *Hoeveelheden te vervangen grindequivalenten door het gebruik van gesinterde vliegias als toeslagmateriaal in konstruktief-lichtbeton.*

Tabel 8.10 is weer opgenomen in overzichtstabel 8.11 aan het einde van dit hoofdstuk.

Grind-vervangend materiaal	Mogelijke vervanging in miljoen ton grindequivalenten				T A B E L	Soort beton.	Kwaliteit 1)							
							Cementbeton			Asfaltbeton				
	1990		2000										Laag	Middel matig
	Min	Max	Min	Max			n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.				
Cement-betonpuin	0,2	1,1	0,4	2,6	8.4	Kringloopbeton (zie tabel 7.4)				x				x
						Breekbetonasfalt				n.v.t.			x	x
Metselwerkpuin	0	3,7	0,3	5,0	8.4	Dicht baksteenbeton (konstr.beton)				x				n.v.t.
						Poreus baksteenbeton(licht beton)				x				n.v.t.
Mijnsteen	0,5	0,5	0,5	1,5	8.5	Puinasfalt				n.v.t.			x	
						Mijnsteenbeton (mijnsteenkorrels)		x	x					n.v.t.
Vuilverbrandings- slakken	0	0,5	0	0,8	8.7	Hollith-lichtbeton (gesinterde mijnsteen)								n.v.t.
						A.V.S.- beton		x						n.v.t.
Kolenslakken	?	?	?	?	x	A.V.S. - asfaltbeton				n.v.t.		x		
						Toeslagmat. in cement- en asfaltbeton				?				?
Hoogovenslakken, zoals schuimslakken, kogelvormige slakken en stukslakken, zijn een geschikt materiaal om grind te vervangen, maar er zijn hoogwaardiger toepassingen dan grindvervanging. Hieronder wordt daarom wel aangegeven welke toepassingmogelijkheden de verschillende soorten hebben.														
Schuimslakken	-	-	-	-	x	Lichtgew.toeslagmat. in cementbeton								n.v.t.
Kogelvormige slak	-	-	-	-	x	Lichtgew. toeslagmat. in cementbeton								n.v.t.
Stukslak	-	-	-	-	x	Toeslagmat. in cement- en asfaltbeton								x
Stuulsakken	0	0,4	0	0,4	8.8	Toeslagmat. in asfaltbeton				n.v.t.				x
Fosfor-slakken	0	0,7	0	0,7	8.9	Toeslagmat. in cement- en asfaltbeton								x
Gesinterde vliegas	0	0,8	0	1,5	8.10	Lytag (lichtbeton + kontr. beton)								n.v.t.

Tabel 8.11 *Overzicht mogelijke vervanging van het toeslagmateriaal grind en gebroken grind door andere materialen in cementbeton en asfaltbeton*

1) zie overzichtstabel 7.7.

# ALTERNATIEF MATERIAAL VOOR CEMENT- EN ASFALTBETON EN GRIND IN ONGEBONDEN VORM

## 9.1. INLEIDING

In dit hoofdstuk zal worden nagegaan of er alternatieven zijn voor cementbeton, asfaltbeton en grind dat in ongebonden vorm wordt gebruikt. Het gebruik van een alternatief materiaal betekent een reductie van het grind- en gebroken grindverbruik. In alle drie gevallen zal worden aangegeven welke perspectieven er zijn voor een materiaal en hoeveel grindequivalenten eventueel daardoor bespaard kunnen worden in 1990 en 2000.

## 9.2. ALTERNATIEVEN VOOR CEMENTBETON

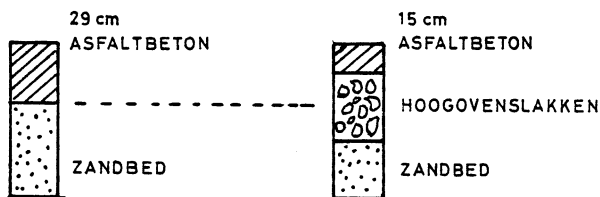
De afgelopen tientallen jaren heeft zich het proces voltrokken dat allerlei bouwmaterialen, zoals bijvoorbeeld bakstenen, zijn vervangen door cementbeton omdat het prijstechnisch, materiaalkundig en constructief gezien zoveel voordelen biedt. Dat dit proces weer in omgekeerde richting zal verlopen is onwaarschijnlijk. In de woningbouw zijn momenteel wel een aantal ontwikkelingen gaande die tot een reductie van het betonverbruik kunnen leiden. Voorbeelden hiervan zijn de houtskeletbouw in Amsterdam in verband met een geringer gewicht op de bestaande fundering en de vouwskeletbouw.

Tevens bestaan er verwachtingen dat men door betere berekeningsmethoden, betere konstruktiemethoden en verbeteringen in de betonkwaliteit zuiniger kan konstrueren, waardoor een reductie van het betonverbruik zal optreden. Het is helaas niet mogelijk om voor bovengenoemde ontwikkelingen aan te geven hoeveel grindequivalenten daardoor in de toekomst bespaard kunnen worden.

## 9.3. ALTERNATIEVEN VOOR ASFALTBETON

Als gevolg van de gestegen bitumenprijzen vervangt men vooral de laatste twee jaren steeds meer de onderste asfaltlagen door slakken of puin. Als voorbeeld kan de verhardingskonstruktie van een sekundaire weg in de provincie Zuid-Holland dienen, zie figuur 9.1:





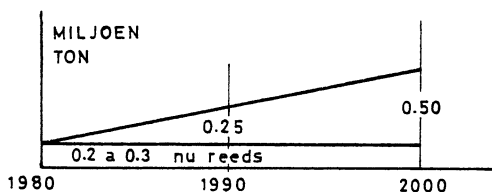
(zie: SCW-1981, blz. 146)

Figuur 9.1 *Voorbeeld vervanging onderste lagen asfalt door hoogovenslakken of puin.*

De asfaltconstructie kan in dit geval 14 cm dunner worden; een besparing van bijna 50%. Bovendien blijken de kosten 25% lager te zijn (zie SCW-1981, blz. 146). In de wegenbouw wordt overigens steeds meer gekozen voor beton- en metselwerkpuin, dat in grote hoeveelheden beschikbaar komt, ter vervanging van hoogovenslakken. De eventuele vervanging van asfaltbetonwegen door cementbetonwegen levert in principe geen grindbesparing op.

#### *Hoeveel te besparen grindequivalenten*

Het is moeilijk te kwantificeren hoeveel asfaltbeton bespaard zal worden door de vervanging van de onderste lagen door een ander materiaal omdat de soort constructie mede afhangt van de keuze van de wegontwerper. In 1981 is 1,9 mln. ton asfaltbeton gebruikt voor de aanleg van nieuwe wegen (zie wegen-mrt. 1982, blz. 80). Volgens Haskoning zou in 1981 reeds 0,2 à 0,3 mln. ton grind oftewel 0,4 à 0,6 mln. ton asfalt, op deze manier vervangen zijn (zie Haskoning-1982, blz. 33). Gezien de verwachtingen in de grond-, weg- en waterbouwsector kan niet verwacht worden dat er een grote toename zal komen van nieuwbouw van wegen. Onder de aanname dat zonder verdere vervanging in 2000 ook jaarlijks 1,9 mln. ton asfalt voor nieuwe wegen zal worden gebruikt zou verwacht kunnen worden dat er in 2000 maximaal nog eens 50% van 1,9 mln. = 1 mln. ton asfalt op bovengenoemde manier bespaard kan worden. Dit komt overeen met 0,5 mln. ton grind. Ervan uitgaande dat het vervangingsproces tussen 1980 en 2000 geleidelijk verloopt krijgt men het volgende beeld, zie figuur 9.2:



Figuur 9.2 *Grindbesparing door vervanging onderste lagen asfalt in mln. ton.*

De 0,2 à 0,3 mln ton uit 1981 moet erbij geteld worden omdat het startpunt van de prognose in het jaar 1980 ligt. Bovengenoemde hoeveelheden moeten als een *bovengrens* gezien worden. Als *ondergrens* voor 1990 en 2000 zou men kunnen aannemen dat het vervangingsproces niet verder verloopt. De minimale en maximale te besparen hoeveelheden grindequivalenten door de vervanging van de onderste lagen asfalt zijn uiteindelijk samengevat in tabel 9.1.

Vervanging onderste lagen asfalt- konstruktie door andere materialen		
	Minimum	Maximum
Jaar	Mln. ton grindequivalenten	
1990	0,2	0,5
2000	0,2	0,8

Tabel 9.1 *Besparing in mln. ton grindequivalenten door vervanging onderste lagen asfalt door andere materialen.*

#### 9.4 ALTERNATIEVEN VOOR GRIND EN GRBROKEN GRIND IN ONGEBONDEN VORM

Grind in ongebonden vorm wordt bijvoorbeeld gebruikt voor de delta-werken en als ballastbed voor spoorwegen. Dit grind kan heel gemakkelijk vervangen worden door andere steensoorten, die al dan niet ingevoerd worden, of afvalstoffen zoals bijvoorbeeld fosfor- en staalslakken en betonpuin. In de VS wordt gebroken sloopbeton bijvoorbeeld gebruikt als ballastbed voor spoorwegen (zie Bakker-juli 1981, blz. 202).

Door een gebrek aan statistisch materiaal is het erg moeilijk een raming te maken van de hoeveelheden grindequivalenten die bespaard kunnen worden door het gebruik van alternatieve materialen voor grind en gebroken grind dat in ongebonden vorm gebruikt wordt. Slechts in enkele gevallen zijn gegevens beschikbaar. De grinderij in Linne bijvoorbeeld levert volgens eigen opgave momenteel per week 8 à 9000 ton gebroken grind aan de Nederlandse Spoorwegen.

In het rapport "Verbruik van grind, de structuur van het huidige verbruik" van het NEI kan men zien hoeveel grind groter dan 30 mm naar de categorie "grote werken" is gegaan. Het betreft de volgende jaren (zie NEI-1976-B, blz. 11):

1971	2,2 mln.ton
1972	1,2 mln.ton
1973	0,6 mln.ton

Hieruit blijkt dat er geen sprake is van een konstant afzetpatroon waardoor het erg moeilijk wordt de te vervangen hoeveelheden grind te kwantificeren. Het is heel goed denkbaar dat bijvoorbeeld in 2000 0,5 mln. ton grind in ongebonden vorm per jaar vervangen zou kunnen worden door cementbetonpuin, slakken en dergelijke.

In hoofdstuk 8 zijn de beschikbare hoeveelheden geraamd van allerlei materialen die grind kunnen vervangen als toeslagmateriaal in cement- en asfaltbeton. Men zou kunnen stellen dat de bovengenoemde vervanging van grind en gebroken grind dat in ongebonden vorm wordt gebruikt reeds in de geraamde hoeveelheden is opgenomen van de vervanging van grind en gebroken grind als toeslagmateriaal, waardoor de geraamde hoeveelheden in hoofdstuk 8 een grotere betrouwbaarheid krijgen. Het betreft immers dezelfde vervangende materialen zoals bijvoorbeeld puin, slakken enz.. Daarom worden er bij dit onderdeel geen hoeveelheden geraamd.

# LITERATUUR DEEL II

Op alfabetische kode:

- Bakker - 1979 De toepassing van afvalstoffen en industriële bijprodukten in de civiele techniek.  
drs. R.F.M. Bakker, e.a.  
Wegen, september 1979, blz. 259.
- Bakker - mrt 1981 Afvalstoffen- vervangende grondstoffen voor beton.  
drs. R.F.M. Bakker en ing. J.H. Köhne.  
Cement, nr. 3, 1981, blz. 183.
- Bakker - juli 1981 Hergebruik van wegverhardingsmateriaal.  
drs. R.F.M. Bakker e.a.  
Wegen, juli 1981, blz. 195.
- Boogaard - 1981 Demonteerbaar bouwen.  
ir. W.J. van den Boogaard.  
Cement, nr. 6, 1981, blz. 363.
- Bolk - 1981 Nieuwe ervaringen met hergebruik van oud asfalt op partiële basis.  
ir. H.J.N.A. Bolk, e.a.  
Wegen, dec. 1981, blz. 377.
- Botman - 1979 Bouw- en sloopafval in Nederland.  
Regionale spreiding naar omvang en samenstelling 1977-2000.  
Bouwcentrum.  
drs. J.J. Botman.  
Rotterdam/Amersfoort, febr. 1979.
- Buys - 1981 Demonteerbaar denken en doen.  
ir. J. Buys.  
Cement, nr. 6, 1981, blz. 368.
- Couvée - 1980 Kringloopbeton.  
ing. B.A.M. Coevée en ing. M.P.J. Kerstholt.  
Cement, nr. 11, 1980, blz. 694.
- CUR - 48 Lichtbeton, rapportnummer 48.  
Commissie voor uitvoering van research ingesteld door de betonvereniging (CUR).  
mei 1971.
- Gels - 1980 Met afvalverbrandingsslakken vervaardigd beton in de wegenbouw.  
ing. J.A. Gels, e.a.  
Wegen, april 1980, blz. 99.
- Gerardu - 1982 Warme regeneratie van asfalt volgens de Renofalt-procédé (II).  
ir. J.J.A. Gerardu, e.a.  
Wegen, juni 1982, blz. 195.

- de Groot - 1977      Kan "Puinasfalt" onze puinbergen doen slinken?  
ing. P. de Groot en ing. P. de Vooght.  
Wegen, december 1977, blz. 408.
- Haskoning - 1982      Onderzoek inzake vervangende materialen voor in Nederland gewonnen grind (en zand).  
Overzicht van mogelijkheden tot 1990.  
Haskoning B.V.  
ir. G. Kingma en ing. H. Gräber.  
Nijmegen, febr. 1982.
- Heerkens - jan. 1980      Hergebruik van sloopbeton als cementgebonden funderingsmateriaal.  
ir. J.C.P. Heerkens en lt. kol. T. van Rijswijk.  
Wegen, jan. 1980, blz. 36.
- Heerkens - febr. 1980      Kringloopbeton of het hergebruik van sloopbeton als toeslagmateriaal voor hoogwaardig cementbeton.  
Wegen, febr. 1980, blz. 47.
- Hendriks - juli 1981      Hergebruik van wegverhardingsmateriaal in Nederland.  
dr.ir. CH.F. Hendriks.  
Wegen, juli 1981, blz. 205.
- Hendriks - nov. 1982      De mogelijke vervanging van beton en metselzand en grind.  
dr.ir. CH.F. Hendriks.  
Civiele & Bouwkundige techniek nr. 1, nov. 1981, blz. 20.
- Kreyger - 1977      De betekenis van schaarste-, milieu- en energie- overwegingen voor het gebruik van bouwmaterialen.  
Prof. ir. P.C. Kreyger.  
Cement, nr. 2, 1977, blz. 46.
- Kreyger - 1980      Beton uit beton en nog wat.  
Prof. ir. P.C. Kreyger.  
Cement, nr. 4, 1980, blz. 214.
- Kroonder - 1977      Afvalverbrandingsslak in de wegenbouw.  
ing. W. Kroonder, e.a.  
Wegen, oktober 1977, blz. 301.
- Lambotte - 1979      Hergebruik sloopbeton.  
Prof. ir. H. Lambotte en ir. C. de Pauw.  
Cement, nr. 8, 1979, blz. 330.

- NEI - 1976 - B      Verbruik van grind in Nederland.  
a) de structuur van het huidige verbruik  
b) een prognose van het verbruik  
NEI.  
Rotterdam, jan. 1976.
- NIRIA - 1981      Syllabus hergebruik van asfalt in de  
wegenbouw.  
NIRIA.  
Utrecht - nov. 1981.
- SCW - 1980      Toepassing afvalstoffen in de wegenbouw.  
Introductie tot het symposium op 2 okt.  
1980.  
SCW.  
Arnhem, aug. 1980.
- SCW - 1981      Toepassing afvalstoffen in de wegenbouw.  
Verslag SCW symposium okt. 1980 te  
Utrecht.  
SCW.  
Arnhem, febr. 1981.
- Spits - 1980      Slopen, hergebruik en demontage van beton.  
P.L. Spits.  
Cement, nr. 4, 1980, blz. 212.